

# VGR 2016

GDL NATECH

TITOLO DOCUMENTO

***“Metodologie per la gestione di eventi  
Natech”***

LUGLIO 2016 – Vers.10

## Premessa

Nell'ambito delle attività VGR2016 è stato istituito il gruppo di lavoro Natech composto come di seguito riportato:

<b>Nome Cognome</b>	<b>Amministrazione/Ente/Struttura</b>
Francesco GERI	PCM-DPC (coordinatore gruppo di lavoro)
Alberto RICCHIUTI	ISPRA
Antonio FARDELLI	Ministero Ambiente
Francesco ASTORRI	ISPRA
Francesco PILO	CNVVF
Edoardo GALATOLA	SINDAR
Paolo MAZZARELO	ESSO I
Massimo MARI	CNR-IIA c/o MATTM
Alessio RINALDINI	INAIL/DIT
Alessandra MARINO	INAIL/DIT
Mariano CIUCCI	INAIL/DIT
Gabriele BALLOCCO	RAMS&ESRL
Nunzia BERNARDO	RSE Spa
Renato NORDIO	STNR/ASSOGAVLANICA
Daniele ANGELI	ARPA Umbria
Cosetta MAZZINI	ARPA Emilia Romagna
Gabriella RUFFI	Icaro srl
Giuseppe RAMALLI	Icaro srl
Siliano STANGANINI	Icaro Srl
Valeria CRISTI	PCM-DPC
Giovanna MARTINI	PCM-DPC
Nunzia BERNARDO	RSE c/o MISE

Il gruppo di lavoro ha avuto come obiettivo quello di organizzare una serie di contenuti, metodologie e procedure secondo lo schema logico del risk management declinando i vari contributi secondo le attività di previsione, prevenzione, pianificazione, gestione dell'emergenza e ripristino a seguito di eventi naturali su impianti a rischio di incidente rilevante.

Il focus del gruppo di lavoro è stato su eventi NaTech quali: sisma, eventi idrogeologici e meteorologici estremi, e tsunami ed in particolare sulla analisi di alcune metodologie e strumenti in grado di poter contribuire in modo positivo ad un incremento della resilienza delle strutture industriali a seguito di evento naturale.

Particolare attenzione è stata posta sugli aspetti di interrelazione con la direttiva 2018/2012/UE (cd.Seveso III) evidenziando alcuni possibili orientamenti metodologici che possono contribuire ad una migliore attuazione della direttiva stessa relativamente agli eventi Natech.

Tra gli obiettivi specifici del gdl si evidenziano i seguenti:

- identificazione della esigenza di prevenzione e protezione da eventi Natech
- integrazione/completamento rispetto a quanto previsto dal decreto 105/2015
- sistematizzazione di metodologie per la prevenzione e protezione del rischio naturale su impianti RIR
- definizione di strumenti e modalità di allertamento esistenti (es. collegamento Centri Funzionali regionali con impianti RIR) utilizzabili per l'incremento della resilienza degli impianti rispetto ad eventi naturali

Il gruppo di lavoro ha seguito un approccio metodologico orientato alla gestione del rischio, considerando dapprima gli elementi di consapevolezza degli effetti legati agli eventi Natech e le modalità di analisi di sito per la valutazione dei rischi connessi ad eventi Natech. Successivamente sono state considerate alcune modalità di prevenzione e protezione e le relative metodologie di supporto, anche in relazione ad aspetti di innovazione tecnologica (es. utilizzo dei droni). Infine sono stati espressi casi di studio per meglio focalizzare gli aspetti applicativi delle metodologie considerate. Infine sono stati evidenziati ulteriori aspetti da analizzare ed approfondire rispetto alla presente analisi.

## Sommario

Consapevolezza degli effetti legati ad eventi Natech .....	68
<i>Definizione di eventi natech</i> .....	68
<i>Analisi storica di eventi Natech su impianti RIR</i> .....	68
<i>Il terremoto in Turchia (Provincia di Kocaeli)</i> .....	1012
<i>Eventi metereologici estremi: Francia, 26-27 dicembre 1999</i> .....	1547
<i>Quadro dei principali danni osservati e quadro delle lezioni apprese</i> .....	1618
<i>Valutazione socio-economica del danno da evento NAttech</i> .....	1820
<i>Gli effetti ambientali connessi all'evento Natech</i> .....	2224
<i>La percezione dell'evento Natech su impianti RIR: esigenze ed azioni prioritarie in riferimento alla Seveso III</i> .....	2628
Mappatura dei rischi naturali che possono dare luogo ad eventi Natech in Italia .....	2931
<i>RIR e rischio sismico</i> .....	3032
<i>RIR e rischio idrogeologico e idrometeorologico</i> .....	3335
<i>Progetto IFFI</i> .....	3537
<i>Progetto POLARIS (CNR-IRPI)</i> .....	3739
<i>Piattaforma DEWETRA</i> .....	3941
<i>RIR e rischio tsunami</i> .....	4143
<i>RIR e rischio ambientale sui corpi d'acqua superficiali</i> .....	4547
Modalità di analisi e valutazione dei rischi naturali su impianti RIR .....	4850
<i>Analisi e valutazione rischio Natech dovuto a sisma su impianti RIR</i> .....	4850
<i>Le azioni sismiche su impianti a rischio di incidente rilevante</i> .....	4850
<i>Le verifiche di adeguatezza sismica per gli impianti esistenti</i> .....	5153
<i>Verifiche sismiche e criticità riscontrate</i> .....	5456
<i>Rischio NaTech associato al sisma</i> .....	5557
<i>Lo scenario NaTech causato da sisma e la norma ATC 13</i> .....	6062
<i>Analisi e valutazione rischio tsunami su impianti RIR</i> .....	6365
<i>Individuazione delle aree a rischio maremoto</i> .....	6365
<i>Metodo speditivo per la delimitazione delle aree a rischio maremoto</i> .....	6466
Modalità di prevenzione e protezione da eventi NaTech .....	6870
<i>Elementi di vulnerabilità degli impianti industriali sottoposti a sisma e principali effetti sugli impianti</i> .....	6974
<i>Configurazioni tipiche degli impianti industriali e analisi del loro comportamento sismico</i> .....	7274
<i>Effetti di sito e microzonazione sismica</i> .....	7981
<i>Amplificazione locale ed interazione terreno –serbatoio</i> .....	8082
<i>Moto di fluidi in serbatoi sotto azione sismica: effetti sui serbatoi cilindrici</i> .....	8183

<i>Riduzione della vulnerabilità sismica degli impianti RIR .....</i>	<u>8284</u>
<i>Classi di componenti di impianti RIR e loro danni potenziali a seguito di sisma .....</i>	<u>8587</u>
<i>Tecnologie per la protezione sismica delle strutture .....</i>	<u>8688</u>
<i>Sistemi di isolamento sismico e di dissipazione dell'energia .....</i>	<u>9193</u>
<i>Applicazione dei sistemi innovativi di protezione sismica .....</i>	<u>9597</u>
<i>Protezione sismica di strutture adiacenti in impianti industriali .....</i>	<u>99101</u>
<i>Riduzione della vulnerabilità sismica degli impianti antincendio in impianto RIR .....</i>	<u>100102</u>
<i>La riduzione della vulnerabilità rispetto al rischio idrogeologico .....</i>	<u>101103</u>
<i>Indicazioni di massima per la pianificazione e l'attuazione di misure di mitigazione in riferimento ad eventi NaTech su impianti RIR .....</i>	<u>103105</u>
<i>Pianificazione delle misure di mitigazione evento NaTech per rischio sismico su impianto RIR .....</i>	<u>104106</u>
<i>Pianificazione delle misure di mitigazione per evento NaTech per rischio tsunami su impianto RIR .....</i>	<u>110112</u>
<i>Pianificazione delle misure di mitigazione per evento NaTech idrogeologico/eventi meteorologici estremi su impianti RIR .....</i>	<u>115117</u>
<i>Il monitoraggio con droni nelle emergenze connesse con gli impianti a rischio di incidente rilevante .....</i>	<u>119121</u>
<i>Configurazioni di SAPR per monitoraggio di incidenti rilevanti in corso .....</i>	<u>120122</u>
<i>Il rischio Natech e la Direttiva inerente il "Programma nazionale di soccorso per il rischio sismico" .....</i>	<u>127129</u>
<i>La struttura organizzativa nazionale .....</i>	<u>129131</u>
<i>Comitato operativo della protezione civile .....</i>	<u>131133</u>
<i>Funzione Rischi indotti e Rischio Natech .....</i>	<u>132134</u>
<i>Sistemi di Supporto alle decisioni in emergenza sismica: il SIGE .....</i>	<u>133135</u>
<i>Lo scenario NATECH e sua integrazione nell'applicativo per il supporto alle decisioni in caso di sisma .....</i>	<u>136138</u>
<i>Caso di studio sulla prevenzione rispetto ad evento Natech .....</i>	<u>138140</u>
<i>Analisi del rischio Natech nell'area dello stabilimento .....</i>	<u>138140</u>
<i>Gli interventi di prevenzione e protezione proposti e realizzati .....</i>	<u>140142</u>
<i>Aspetti da sviluppare e migliorare rispetto alla gestione del rischio Natech .....</i>	<u>144146</u>
<i>Bibliografia .....</i>	<u>145147</u>

## Consapevolezza degli effetti legati ad eventi Natech

### **Definizione di eventi natech**

Finalità principale della normativa Seveso è individuare i potenziali fattori di criticità degli impianti RIR ed adottare misure idonee alla loro riduzione attraverso un'articolata analisi di rischio. Per essere efficace ed esaustiva, tale metodologia di indagine deve avere un carattere areale, cioè non deve interessare esclusivamente il *layout* dello stabilimento industriale, ma deve riguardare in tutte le sue componenti (acqua, aria e suolo) anche l'ambiente circostante.

L'analisi del territorio -nonché dei tempi di ritorno di eventi naturali calamitosi- assume quindi un ruolo di primaria importanza al fine di disporre di elementi utili ad un giudizio complessivo sulla vulnerabilità d'area. Infatti, un numero limitato ma rilevante di incidenti industriali è causato da disastri naturali. Nella letteratura internazionale, tale tipologia di incidenti sono definiti eventi Na-Tech ovvero "*Natural – Technological*". La definizione di NaTech è "*Incidenti tecnologici –come incendi, esplosioni e rilasci tossici che possono verificarsi all'interno di complessi industriali e lungo le reti di distribuzione a seguito di eventi calamitosi di matrice naturale*". (Clerc e Le Claire, 1994; Lindell e Perry, 1996; Menoni, 1997).

Ignorare la dimensione multipla del rischio non consente né di tener conto degli effetti amplificativi o a catena che possono innescarsi (effetto domino) né, in positivo, delle sinergie che è possibile attivare tra azioni orientate alla prevenzione/mitigazione degli impatti determinati da diverse tipologie di rischio sui sistemi urbani o territoriali.

### **Analisi storica di eventi Natech su impianti RIR**

Negli ultimi anni, si è riscontrato un aumento del numero e della gravità degli eventi Na-Tech in tutto il mondo. Nel grafico successivo è riportato il numero di incidenti, dovuti a cause naturali, accaduti in Europa nel periodo 1980-2009.

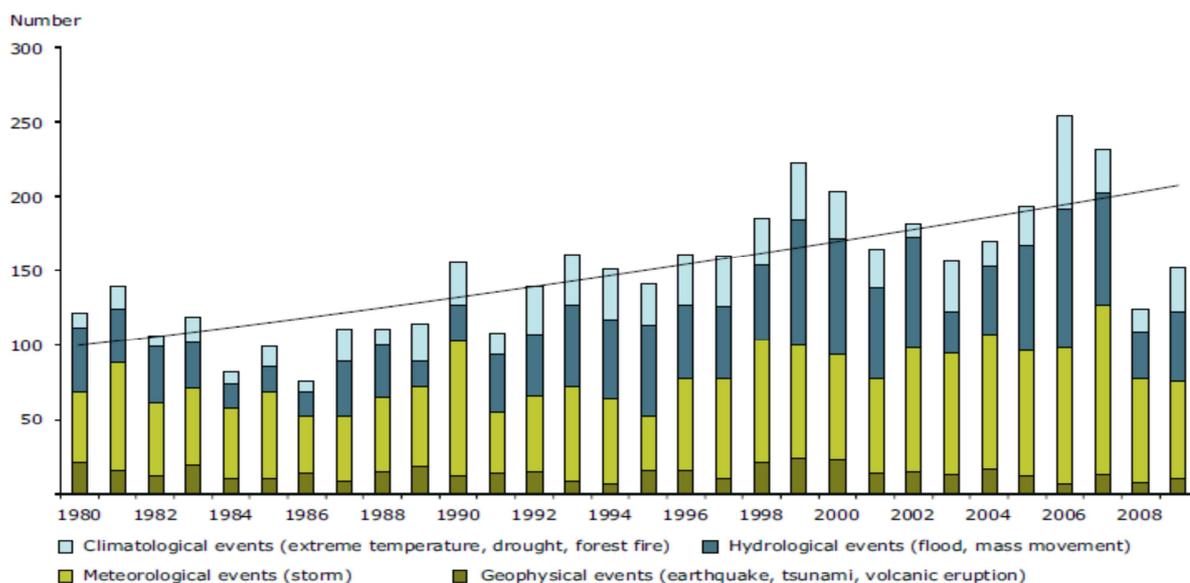


Figura 1 – Incidenti per cause naturali in Europa nel periodo 1980-2009

Le catastrofi naturali possono comportare un rischio che non dipende unicamente dagli effetti diretti su persone e strutture, ma comprende anche gli effetti conseguenti ad eventuali rilasci di sostanze pericolose da *item* di impianti e stoccaggi colpiti dall'evento naturale stesso. Gli eventi *Na-Tech* (Natural – Technological event), che indicano la loro doppia composizione, naturale e tecnologica, come evidenziato dall'analisi storica, possono essere generati da diversi eventi naturali: fulmini; alluvioni; terremoti; fenomeni vulcanici; uragani; forte vento, trombe d'aria. Su 7109 eventi incidentali accaduti in siti industriali, n. 215 sono stati causati da eventi naturali (Banca dati MHIDAS). Il 3% degli eventi incidentali sono *Na-Tech*

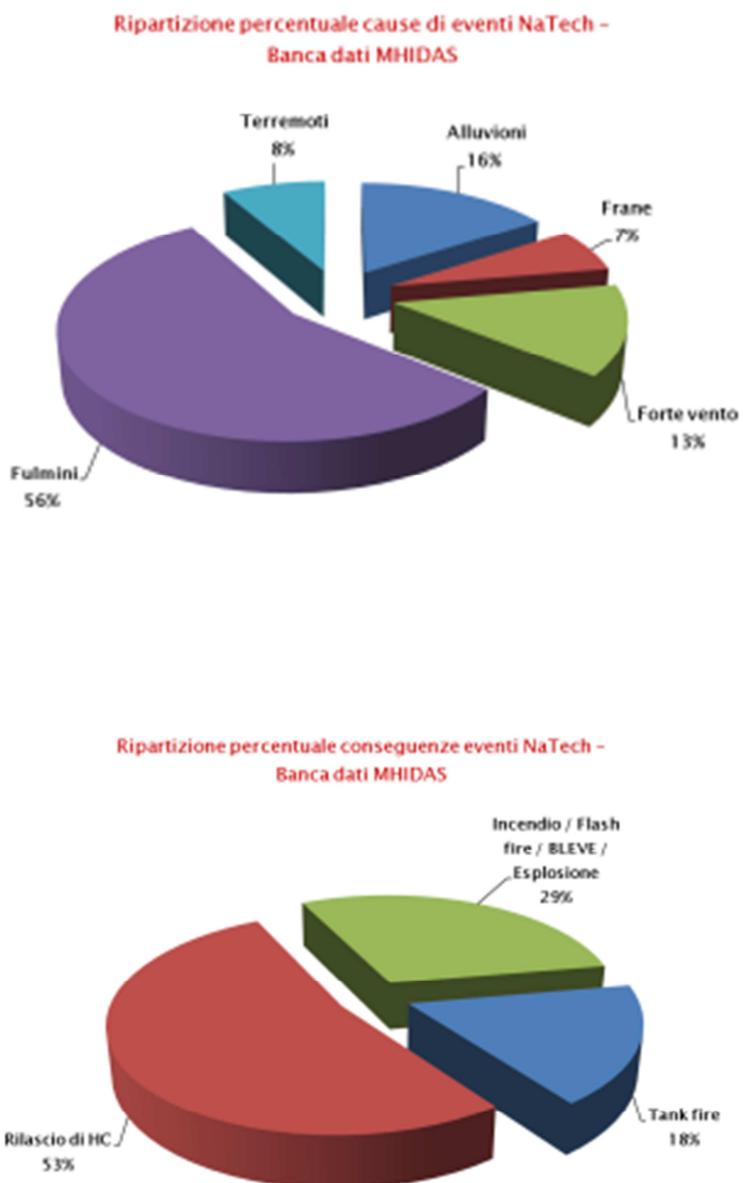


Figura 2 – Ripartizione cause-conseguenze per gli eventi Natech

L'analisi storica ha permesso di raccogliere dati su 78 eventi natech causati da terremoti. Da tale analisi è emerso che le apparecchiature più vulnerabili sono quelle per il trasporto e per lo stoccaggio dei materiali.

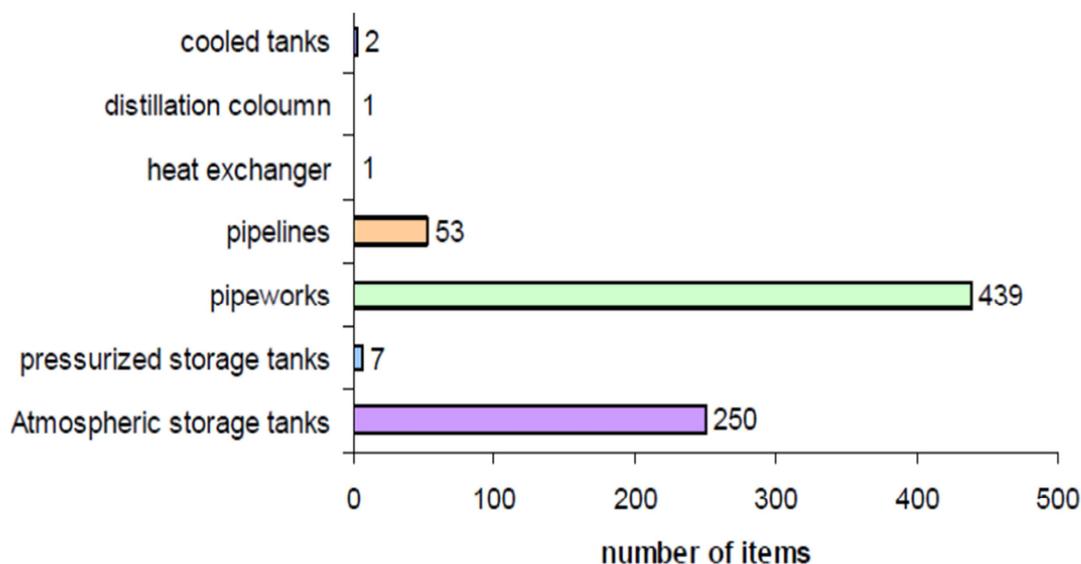


Figura 3 – Eventi Natech ed apparecchiature vulnerabili

La magnitudo di tali incidenti è inoltre amplificata dal possibile contemporaneo fuori servizio dei sistemi di mitigazione preposti al contenimento degli eventi o alla messa in sicurezza degli impianti, come, ad esempio:

- crollo ciminiera (115 m) e coinvolgimento di tubazioni di collegamento e del forno Topping e successivo incendio, con impossibilità di intercettare l'alimentazione per inoperabilità valvole di shut-off;
- incendio serbatoio benzina con propagazione ad altri serbatoi;
- danneggiamento strutture pontile con rilascio di HC in mare;
- rottura braccio di travaso GPL;
- mancanza servizi (Energia Elettrica, acqua di raffreddamento)
- rottura tubazione reintegro acqua antincendio, con conseguente impossibilità di contenere gli eventi di incendio.

Si evidenzia che il 70% di incidenti avviene con perdita di contaminante (LOC). I maggiori danni si verificano con la rottura dei serbatoi.

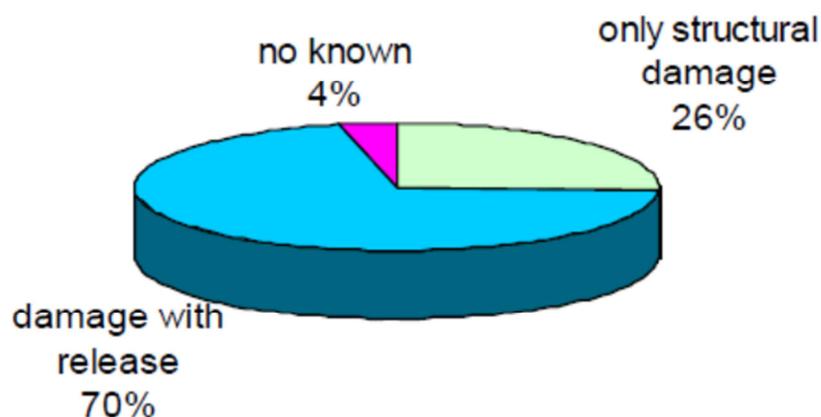


Figura 4 – Tipologia di danni per evento Natech

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 di *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 i due eventi principali del 26/09/2003 ( $M=8,0$  e  $7,1$ ); successivamente, un serbatoio con nafta si incendiò durante un *aftershock* del 28/09. La rottura delle coperture dei serbatoi, alle quali seguirono gli incendi, si dovette ai movimenti ondosi "di pelo libero" (*sloshing*) dei liquidi infiammabili contenuti, innescati dalle vibrazioni sismiche.

#### *Il terremoto in Turchia (Provincia di Kocaeli)*

Il terremoto avvenuto il 17 agosto 1999 con epicentro la provincia di Kocaeli, uno dei disastri naturali più devastanti della storia moderna della Turchia, avvenuto con intensità MCS pari a X alle ore 03.02 locali, causò più di 17000 morti e oltre 44000 feriti, senza contare le innumerevoli distruzioni che esso comportò. L'area interessata, infatti, è una delle più industrializzate del paese, producendo il 35% dell'intero prodotto nazionale lordo. *Il terremoto ha causato significativi danni*

*strutturali e la distruzione di attrezzature e impianti industriali con la generazione simultanea di molti eventi natech: rilascio di sostanze pericolose e sviluppo di giganteschi incendi.*

Tra questi eventi, due sono particolarmente degni di nota a causa delle loro estensioni e conseguenze:

- Il massiccio incendio alla raffineria Tupras di Izmit in Korfez - Kocaeli, durato 5 giorni e spento grazie anche agli aiuti internazionali;
- La fuoriuscita di 6500 tonnellate di acrilonitrile da 3 su un totale di otto serbatoi presso lo stabilimento di produzione di fibre acriliche presso la fabbrica AKSA in Ciftlikkoy – Yalova, che ha portato alla morte di animali domestici e danneggiato le attività agricole, causando un inquinamento ambientale che ha richiesto cinque anni di trattamento continuo di bonifica.

Questi eventi NaTech e le loro conseguenze hanno fornito informazioni preziose e convalidato precedenti esperienze simili per la gestione del rischio nateci.

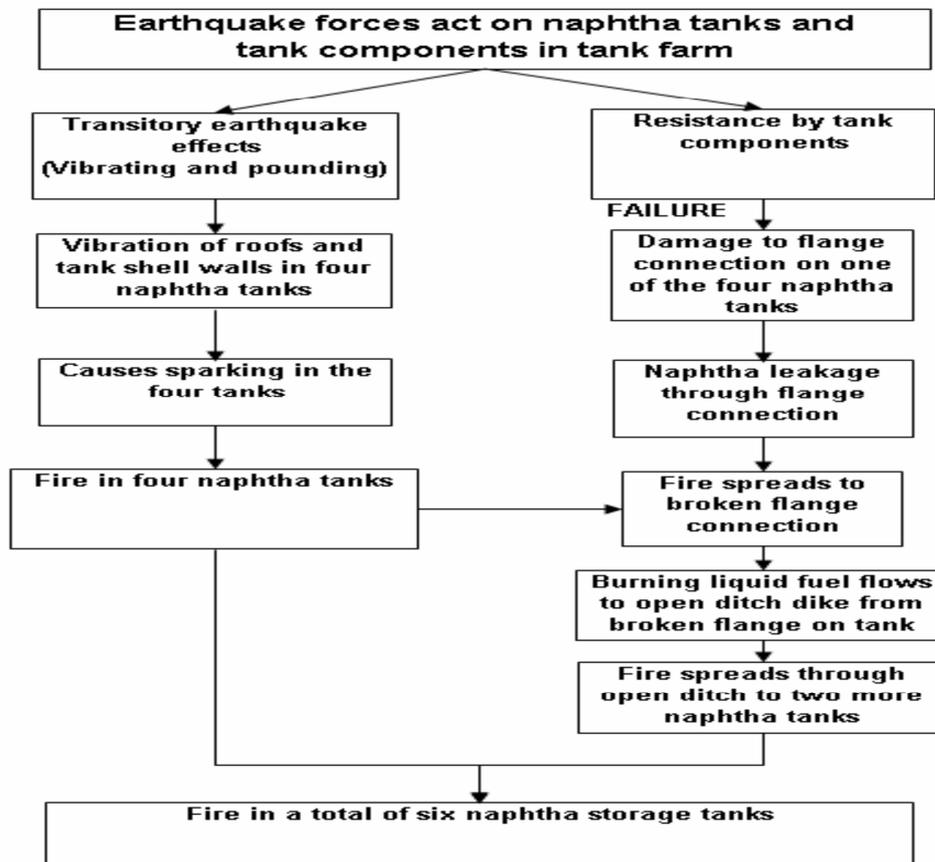
Sono di seguito brevemente sintetizzati i due eventi maggiori, elaborati dalle informazioni contenute in "Steinberg, L. J.; and A. M. Cruz, (2003). "When Natural and Technological Disasters Collide: Emergency Management Lessons From the Turkey Earthquake of August 17, 1999". In Press in Natural HazardsReview.

*Elaborazione scheda incendio alla raffineria Tupras*

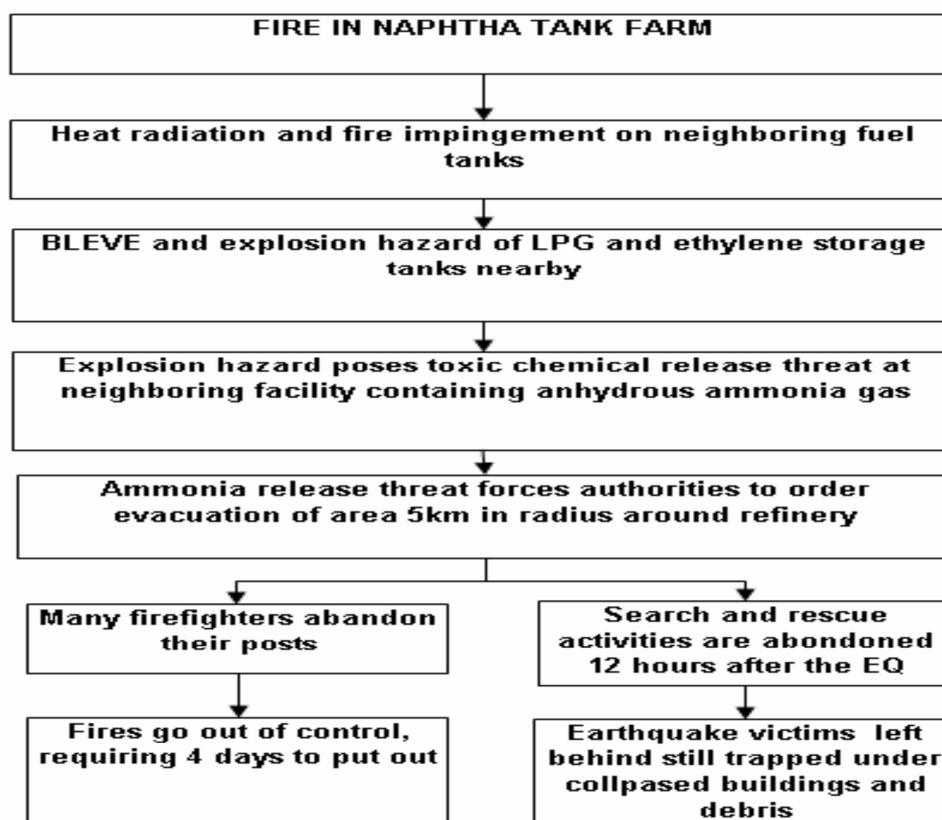
<b>Successione eventi</b>	<b>Mezzi e modalità di intervento</b>	<b>Criticità connesse all'azione sismica</b>	<b>Lezioni apprese</b>
Il primo incendio, innescato nel magazzino chimico poco dopo il terremoto, era di dimensioni limitate	Per quanto sopra, l'attività antincendio si è dovuta effettuare con la riserva d'acqua stoccata in sito (circa 36 000	Nonostante il sostegno fornito dai militari e da aerei ed elicotteri anti-incendio, la mancanza di energia elettrica e la carenza di schiuma ostacolarono le attività di	Dalle analisi post evento è emerso che: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il crollo dello "stack" della "Plant-25" non è stato causato da errori di</li> </ul>

<p>Il secondo incendio divampò nell' impianto di trasformazione del petrolio greggio (Plant-25, costruita nel 1982). Uno dei due "stack" dell'impianto (Stack 25F-5), con un'altezza di 115 e un diametro di 10,5 metri, crollò a causa del terremoto, danneggiando seriamente la fornace dell'impianto e rompendo una serie di tubi di collegamento</p>	<p><sup>3</sup> m ). Tuttavia, poiché i serbatoi dell'acqua non erano coperti, una quantità significativa d'acqua fu perduta a causa dello "sloshing" dovuto al terremoto. In ogni caso, con l'assenza di energia elettrica, le pompe dell'acqua furono alimentate da generatori diesel la cui capacità era nettamente insufficiente.</p>	<p>spegnimento. La situazione, ormai senza controllo, comportò l'abbandono delle attività di spegnimento alle ore 19:00 (dopo 16 ore dal terremoto) e fu emesso un ordine di evacuazione per la zona di 5 km attorno alla raffineria.</p>	<p>progettazione o da utilizzo di materiali scadenti, ma a causa della presenza di giunti di rinforzo nella zona in cui è avvenuta la rottura a flessione.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'incendio della nafta ha distrutto completamente 6 serbatoi ed altri 5 sono stati danneggiati seriamente dal flusso di fuoco che li ha investiti. Fortunatamente non si è avuto l'effetto domino sui serbatoi di benzina, di GPL e ammoniacca presenti nell'impianto.</li> <li>• La maggioranza dei tetti dei serbatoi (30 su 45) è stata danneggiata <u>dallo sloshing</u> causato dal terremoto.</li> <li>• Si è avuto un notevole inquinamento da petrolio (sia terrestre sia marino), dovuto alla rottura dei tubi.</li> </ul>
<p>Il terzo e il più grande incendio accadde presso il serbatoio di nafta, che si trovava all'incirca al centro della zona dove erano collocati i serbatoi della raffineria. Il fuoco divampò in quattro serbatoi della nafta a causa delle scintille provocate dallo sfregamento del tetto scorrevole dei serbatoi con le guarnizioni metalliche della parte interna dei serbatoi (metallo contro metallo).</p>			

Schema della successione degli eventi a seguito del terremoto



*Schema delle conseguenze legate alla successione degli eventi*

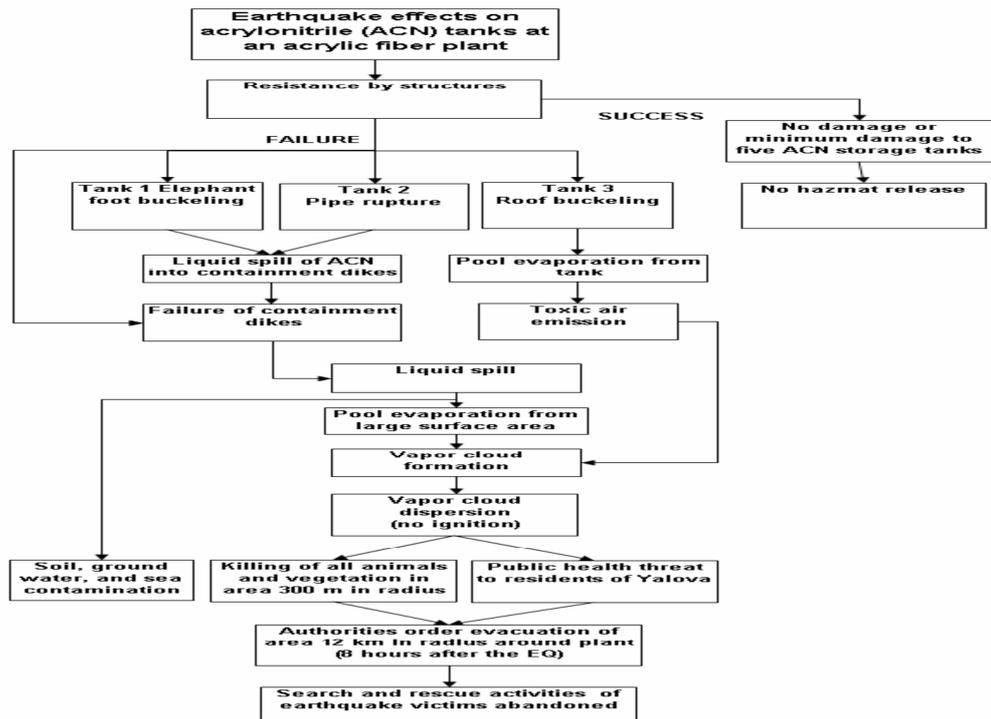


*Elaborazione scheda "fuoriuscita di acrilonitrile - fabbrica AKSA"*

Successione eventi	Mezzi e modalità di intervento	Criticità connesse all'azione sismica
Danneggiamento di tre dei sei serbatoi di stoccaggio dell'acrilonitrile: <ol style="list-style-type: none"> <li>il tetto di uno dei tre serbatoi coinvolti</li> <li>rottura del tubo alla base degli altri due</li> </ol>	Alle 13.30 fu informato il centro di crisi di Yalova e il "general manager" dell'impianto chiese schiume speciali, maschere e pompe, materiale che, anche se presente nell'impianto, risultò insufficiente per la gestione dell'emergenza.	L'elettricità non era disponibile e tutte le condotti dell'acqua, comprese quelle necessarie all'impianto anti-incendio furono danneggiate, causando la perdita delle 400 tonnellate stoccate nei serbatoi. Il sistema di soppressione del vapore,

<p>Rilascio di circa 6500 tonnellate di acrilonitrile nelle dighe di contenimento in cemento armato poste attorno ai serbatoi con :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>straripamento di notevole quantità di liquido riversata in mare tramite i canali di drenaggio</li> <li>riversamento al suolo dagli squarci nel cemento provocati dal terremoto</li> <li>immissione di ulteriore quantità in atmosfera per evaporazione del liquido stesso</li> </ol>	<p>Consigliata l'evacuazione di un'area di 6 km di raggio dall'impianto, evacuazione che avvenne alle ore 15.00 a causa della mancanza di mezzi di comunicazione (la popolazione fu avvertita personalmente dal personale delle forze dell'ordine locali). Fu inoltre chiesto il supporto esterno per le operazioni anti-incendio, ma sia il team del vicino aeroporto militare, sia i vigili del fuoco non poterono concorrere alle attività a causa dell'ambiente altamente tossico e della mancanza di maschere e tute protettive.</p>	<p>installato per contenere eventuali versamenti non operò in maniera corretta a causa della mancanza della pressione dell'acqua. A causa della sua vicinanza ai serbatoi di stoccaggio, il generatore d'emergenza dell'impianto non poté essere utilizzato fino a quando cessò il pericolo di esplosione. A causa del terremoto, gli ospedali locali e le cliniche erano sovraffollati di feriti gravi e quindi, non erano in grado di rispondere adeguatamente all'avvelenamento di persone e trattare i sintomi in modo adeguato. La mancanza di comunicazione aveva anche impedito ai medici di ricevere informazioni sulle proprietà dell'acrilonitrile e dei metodi di trattamento dei suoi effetti tossici.</p>
<p>Tutti gli animali e le piante in un raggio di 200 metri dall'impianto morirono. Il giorno successivo all'evento si registrarono in atmosfera concentrazioni di acrilonitrile di 360 ppm vicino ai serbatoi e 30 ppm nelle vicinanze dell'impianto, mentre nelle acque marine si registrarono concentrazioni di 0.157-2.88 µg/l dopo 10 giorni dall'incidente e 0.75-0.178 µg/l dopo 25 giorni. Inoltre in alcuni campioni fu trovata acrilamide (tossica, cancerogena, mutageno e tossico per la riproduzione) dovuta all'idrolisi dell'acrilonitrile.</p>		

*Effetti del sisma sui serbatoi di stoccaggio di acrilonitrile*



E' stato dimostrato che:

- per entrambi gli incidenti industriali vi è stata la mancanza di energia elettrica e l'insufficiente fornitura di acqua: entrambi sono stati importanti fattori aggravanti in quanto gli impianti antincendio e le infrastrutture di risposta all'emergenza erano stati

progettati e costruiti con l'ipotesi di avere a disposizione una robusta potenza elettrica sia interna sia esterna (interconnessione alla rete nazionale.)

- sebbene i sistemi di emergenza e di back-up per l'energia elettrica e la fornitura di acqua fossero disponibili sia a Turai, sia ad AKSA, essi non erano adeguati per la risposta all'emergenza.
- la risposta del personale delle industrie all'emergenza fu insufficiente perché essi erano stati addestrati per incidenti che sarebbero dovuti accadere durante le normali operazioni della fabbrica, ma non nella gestione dell'emergenza a causa di un evento Na-Tech, come un violento terremoto.

*Scheda di sintesi eventi natech dovuto a sisma su impianti RIR*

<i>Scenari/eventi possibili</i>	<i>Criticità connesse all'azione sismica</i>	<i>Lezioni apprese dalle analisi post evento</i>
<p>Possibile attivazione di effetti domino</p> <p>Successione di eventi (es incendi) con carattere di gravità crescente</p> <p>Danneggiamenti di apparecchiature, serbatoi, torri, forni, piping, con conseguenti rilasci nelle matrici ambientali (acqua aria suolo) di grandi quantità di sostanze pericolose e tossicologiche.</p> <p>Danni diretti alla salute delle popolazioni ed all'ambiente nelle vicinanze del sito industriale</p>	<p>Mancanza di energia elettrica</p> <p>Carenza e/o mancanza di mezzi di estinzione (acqua, schiuma)</p> <p>Blackout dei sistemi di comunicazione</p> <p>Difficoltà e/o impossibilità di intervento da parte delle strutture operative (danni alla rete di trasporto con riduzione/mancanza accessibilità dell'area colpita, difficoltà operative sullo scenario, riduzione della capacità di intervento per indisponibilità di risorse dovuta all'aumento della domanda di intervento)</p>	<p>Mancanza di energia elettrica e di sufficiente fornitura di risorsa idrica sono importanti fattori aggravanti degli eventi Natech a seguito di evento sismico in quanto gli impianti antincendio e le infrastrutture di risposta all'emergenza sono progettati e costruiti con l'ipotesi di avere a disposizione potenza elettrica sia interna sia esterna (interconnessione alla rete nazionale.)</p> <p>Personale che interviene è addestrato per incidenti che sarebbero dovuti accadere durante il funzionamento ordinario dell'impianto</p> <p>Si sono attivati fenomeni di vario tipo quali: sloshing, buking, rotture interfaccia fondo-mantello serbatoi, cedimento localizzati del terreno intorno e sottostanti i serbatoi, ecc</p>

*Eventi meteorologici estremi: Francia, 26-27 dicembre 1999*

Nella Francia settentrionale, nel dicembre del 1999, si verificarono in rapida successione due eventi meteorologici estremi (tempeste Lothar e Martin) che distrussero nel loro percorso più di 200 tralicci di elettrodotti, lasciando più di 3 milioni di persone senza energia elettrica per diversi giorni.

Le inondazioni causarono gravi danni anche ad alcuni stabilimenti industriali RIR con rilascio nell'ambiente circostante di materiale pericoloso; i danni alla rete elettrica non permisero il funzionamento di pompe e motori, di alcuni sistemi di sicurezza -come i rilevatori per la fuoriuscita di gas- e della rete idrica di emergenza.

Il repentino innalzamento del livello idrometrico dei corsi d'acqua determinò vaste inondazioni che danneggiarono le strutture con conseguente rilascio di idrocarburi, cloro soda e acido solfidrico; in un'installazione RIR la mancanza di energia elettrica mise fuori uso il sistema di raffreddamento dei serbatoi di ammonio criogenico.

Dagli eventi Na-Tech del dicembre 1999 in Francia si evince come gli scenari di inondazione debbano essere considerati nella redazione del rapporto di sicurezza e stabilire opportuni piani di emergenza, che includano misure di riduzione e prevenzione del rischio. Nel caso francese, il rilascio incontrollato di sostanze pericolose come idrocarburi, GPL e cloro soda si è verificato a causa dell'enorme spinta che le acque alluvionali e dei detriti da esse trascinati hanno esercitato sui serbatoi e depositi di stoccaggio, determinando in alcuni casi la traslazione degli stessi con conseguente perdita delle sostanze pericolose, per rottura delle flange e/o del mantello degli stessi serbatoi.

A seguito di un'inondazione le parti più vulnerabili di un'installazione industriale sono le componenti elettriche, come le pompe, i motori ed eventuali sistemi per il mantenimento criogenico di sostanze pericolose dalle caratteristiche volatili, danni alle strutture che regolano la gestione della sicurezza, come rilevatori per le fuoriuscite di gas e di altri sistemi di monitoraggio ed antiincendio.

In un simile contesto interventi sia permanenti che temporanei per la riduzione del rischio da tali eventi Na-Tech, possono includere la costruzione di dighe di contenimento (permanente), l'ancoraggio dei serbatoi per prevenire lo sradicamento dalle fondamenta e il loro galleggiamento (permanente) o il dislocamento nella fase di allerta alluvione delle sostanze pericolose in luoghi asciutti o situati a quote più elevate (temporaneo).

Inoltre mezzi alternativi per la produzione di elettricità come generatori elettrici dovrebbero essere sempre a disposizione in numero sufficiente per affrontare l'emergenza; si dovrebbe costituire anche una forza di intervento rapido addetta alla gestione dell'emergenza

### ***Quadro dei principali danni osservati e quadro delle lezioni apprese***

E' stato verificato<sup>1</sup>, in caso di un evento sismico, le apparecchiature più vulnerabili sono quelle per il trasporto e per lo stoccaggio dei materiali (pipelines, pipeworks, storage tanks) e che gli effetti più rilevanti del terremoto sugli impianti sono stati:

- La perdita di energia elettrica
- Lo sloshing

---

<sup>1</sup>Steinberg e Cruz – 2004 – Studio e analisi degli effetti dei sisma sugli impianti industriali,

- La perdita di pressione dell'acqua

In particolare in diversi casi, si genera perdita di sostanze pericolose (LOC - loss of containment).

Occorre inoltre considerare la probabilità che gli effetti che possono generare eventi Natech possono verificarsi *contemporaneamente* in più elementi e/o apparati dell'impianto stesso, anche ad esempio a causa della *indisponibilità per mancato funzionamento dei sistemi di sicurezza*.

E' stato inoltre verificato che, in caso di un evento sismico, le apparecchiature più vulnerabili sono quelle per il trasporto e per lo stoccaggio dei materiali (pipelines, pipeworks, storage tanks).

Alcune considerazioni utili per la formulazione di possibili scenari NaTech sono:

- A) gran parte degli incidenti Natech (70%) avviene con il rilascio di sostanze pericolose
- B) la probabilità di danno con perdita di contaminante (LOC) è molto più elevata dei danni strutturali (26%)
- C) le strutture maggiormente colpite sono le tubazioni e i serbatoi non in pressione.

In particolare, le tipologie di danno strutturale ai serbatoi possono essere considerate di 5 categorie:

Modalità di collasso	Tipologia del danno	Rilascio sostanze pericolose
Elephant Foot Buckling	Elevate tensioni di compressione generate dal momento ribaltante possono innescare fenomeni di instabilità delle pareti del serbatoio	Rilevante se si verifica il collasso delle pareti
Uplifting	Il momento ribaltante può causare un parziale sollevamento delle piastre di base: lo spostamento verticale può determinare la rottura delle pareti del serbatoio e/o la rottura delle tubazioni di ingresso-uscita	Rilevante
Sloshing	L'oscillazione del pelo libero del liquido all'interno del serbatoio può determinare danni al tetto e/o alla parte alta delle pareti del serbatoio	Non rilevante
Sliding	Solo per serbatoi non ancorati: lo spostamento relativo tra il serbatoio e il piano di posa può determinare la rottura delle tubazioni di ingresso-uscita	Rilevante
Liquefazione	Rapido rilascio di sostanze dovuto al totale collasso della struttura determinato dalla liquefazione del terreno	Rilevante

Gli eventi natech sono una importante causa di:

- **danni diretti alle popolazioni** che vivono nelle vicinanze del sito industriale, causati da scenari incidentali che si sviluppano in seguito al danno delle strutture (incendi esplosioni rilasci tossici);
- **danni indiretti legati alle difficoltà delle operazioni di soccorso** quando occorre far fronte a scenari incidentali nei quali sono coinvolte sostanze pericolose.

Il disastroso scenario NaTech causato dal sisma di Kocaeli in Turchia, e i gravissimi danni di natura socio-economica che ne sono conseguiti, è stato "indotto" e favorito da una rapida ed inoculata urbanizzazione che ha interessato una regione da tempo nota per essere ad altissimo rischio sismico.

Negli ultimi 60 anni la società turca ha subito una profonda trasformazione dal punto di vista socio-economico; ciò ha comportato il dislocamento di milioni di persone dalle campagne alle città, con conseguente rapida espansione ed urbanizzazione dei centri abitati. Tale fenomeno fu anche interconnesso dalla profonda industrializzazione che il Paese vide a partire dagli anni '70 del secolo scorso. Numerosi impianti industriali RIR furono costruiti lungo il corridoio tra Istanbul e Ankara, oggi giorno ad elevata densità abitativa, ed in particolare nella regione di Kocaeli. Attratti dalle nuove opportunità di lavoro, si assistette ad un importante flusso di migrazione interna di centinaia di migliaia di persone, che trovò impreparati i funzionari del governo nel fornire alloggi ai migranti appena arrivati. Questi ultimi "risolsero" la questione appropriandosi illegalmente delle terre situate in prossimità degli impianti industriali e costruirono in modo abusivo insediamenti abitativi in prossimità del luogo di lavoro, in assenza di qualsiasi pianificazione territoriale, e senza adeguati regolamenti edilizi (Sevkal, 2001). Nel corso di questa profonda trasformazione del territorio, poco o nulla fu fatto per prevenire o prepararsi ad un terremoto.

### ***Valutazione socio-economica del danno da evento NAtech***

Le raffinerie danneggiate da forti terremoti sono in molti casi rimaste inattive per tempi piuttosto lunghi, da diversi giorni ad alcune settimane, con conseguente elevato danno economico. Tuttavia gli effetti più gravi sono quelli relativi all'incolumità ed alla salute delle persone. Oltre alle vittime causate direttamente dal collasso di parti strutturali all'interno dell'impianto, le conseguenze più gravi possono essere di natura indiretta. A seguito dell'incendio dei serbatoi di prodotti petroliferi e della raffinerie in Turchia fu evacuata un'area circostante di raggio 5 km, a causa della minaccia che tali incendi costituivano nei confronti di vicini serbatoi di GPL e di altre sostanze tossicologiche. Ciò comportò la forzata interruzione delle operazioni di ricerca e soccorso tra le macerie degli edifici crollati; in pratica la zona evacuata fu ancora più ampia, portando alla sospensione delle operazioni di soccorso in una zona fortemente colpita. Probabilmente non sarà mai possibile quantificare il numero di persone che avrebbero potuto essere salvate se non vi fosse stato il

disastro sugli impianti RIR. L'interruzione della produzione, che in questo caso fu di parecchi mesi, ebbe ripercussioni anche sulla ripresa economica della zona colpita, poiché i prodotti della raffineria erano in gran parte utilizzati da industrie locali. Un altro effetto collaterale fu il danno ambientale dovuto allo sversamento di greggio nel mare antistante l'area industriale e contaminazione da acrilonitrile delle matrici ambientali acqua, aria e suolo. Fornire la stima economica dei danni provocati da un evento *Natech* è un'operazione molto complessa. Bisognerebbe *in primis* riferirsi ad una fattispecie specifica per sviluppare un caso di studio, prendendo in considerazione dunque un determinato fenomeno meteorologico estremo, caratterizzato da un determinato impatto e da una determinata durata. In secondo luogo, bisognerebbe conoscere nel dettaglio lo stabilimento o gli stabilimenti "Seveso" colpiti dall'evento. Sarebbe necessario, infatti, conoscere il valore dell'attività industriale condotta nel sito, il fatturato aziendale, il valore economico degli impianti asserviti allo stabilimento, dei mezzi utilizzati, dei prodotti finiti, dei sottoprodotti e delle altre strutture afferenti lo stabilimento e potenzialmente danneggiabili. Ulteriori variabili, che possono essere maggiormente influenti in termini di quantificazione del danno, saranno collegate al livello di esposizione al rischio della popolazione ed alla vulnerabilità del territorio circostante, dipenderanno dunque da presenza e vicinanza dei così detti "bersagli sensibili". Una stima economica così complessa non può prescindere dalla disponibilità dei dati e delle informazioni citate e dunque da una costante e stretta collaborazione tra il gestore dello stabilimento, le autorità competenti in materia di sicurezza e gli enti di ricerca più competenti in materia. Allo stato attuale è auspicabile che, come già accaduto in altri paesi europei, si possa avviare, anche in Italia, un'intensa interazione tra i gestori degli stabilimenti localizzati nelle aree territoriali ritenute più vulnerabili e le autorità locali competenti in materia Seveso, dedite alla gestione delle emergenze ed al mantenimento di opportuni livelli di sicurezza per l'ambiente e per la salute umana. Solo attraverso tali interazioni appare possibile ottenere un'affidabile e completa stima dei danni economici che possono derivare da eventi *Natech* che coinvolgono stabilimenti a rischio di incidente rilevante. Qualora fosse possibile condurre analisi di questo tipo, documentate e complete, è convinzione degli autori che i risultati che ne deriverebbero rivelerebbero una marcata convenienza economica nell'attuare interventi preventivi volti alla riduzione del rischio, sia per il gestore dello stabilimento considerato che per i soggetti pubblici cui sono affidate la gestione delle emergenze e la garanzia di opportuni livelli di sicurezza per la salute umana e per l'ambiente.

Volendo semplificare l'analisi, anche vista l'attuale indisponibilità di dati storici relativi ai danni economici provocati da eventi *Natech* che hanno colpito stabilimenti a rischio di incidente rilevante in Italia, possiamo individuare i quattro elementi fondamentali che andranno considerati nell'analisi di vulnerabilità. Possiamo affermare che più tali elementi risulteranno vulnerabili, rispetto ad un evento *Natech*, più le autorità competenti a livello locale ed il gestore dello stabilimento preso in considerazione avranno convenienza a svolgere azioni preventive (strutturali e non) volte ad aumentare ed a potenziare, da un lato, la resilienza delle strutture dello stabilimento, delle infrastrutture pubbliche e delle residenze private e, dall'altro, il livello di protezione dell'ambiente circostante e della popolazione residente.

	<p style="text-align: center;"><b>PERSONE</b></p> <p><i>(Decessi e ferimenti che possono riguardare lavoratori e non lavoratori)</i>  <i>Fattore umano. La vulnerabilità della popolazione è chiaramente connessa alla vulnerabilità del territorio circostante e delle strutture ed infrastrutture civili presenti. A parità di tali elementi, la vulnerabilità delle persone potrà essere valutata conducendo specifici studi medici volti a determinare i valori limite di esposizione a sostanze tossiche o a fumi di combustioni ecc..</i></p>
	<p style="text-align: center;"><b>AMBIENTE</b></p> <p><i>(danno ambientale)Indisponibilità temporanea di risorse costi per bonifiche e ripristino La vulnerabilità dell'ambiente dipenderà dalla propensione del territorio a subire un danno a seguito di evento calamitoso e varierà in base al "livello di esposizione" dato dall'insieme degli elementi a rischio, presenti all'interno dell'area considerata, e dalle loro interazioni. Inciderà in maniera sostanziale la presenza di eventuali "fattori di propagazione"del danno ambientale</i></p>
	<p style="text-align: center;"><b>RESIDENZE e ALTRE STRUTTURE CIVILI</b></p> <p><i>(danni a abitazioni, uffici, altre strutture civili) Costi perdita servizi Ripristino. La vulnerabilità delle strutture abitative residenziali va intesa come la probabilità di una struttura di subire un certo livello di danno conseguente al manifestarsi di un evento calamitoso di determinata intensità. L'analisi sulla vulnerabilità dell'edificio consentirà di attribuirlo ad una classe tipologica, il cui comportamento rispetto ad un determinato evento calamitoso è noto, grazie all'elaborazione storico-statistica dei danni causati a strutture simili da eventi della medesima natura. Ogni classe tipologica così individuata avrà associata una propria funzione di vulnerabilità, che fornirà l'indicazione di un determinato livello di danno associato ad una determinata intensità dell'evento calamitoso.</i></p>
	<p style="text-align: center;"><b>ATTIVITA' PRODUTTIVE</b></p> <p><i>(danni a stabilimenti RIR e non) Costi ripristino/rilocalizzazione. Mancata produzione Anche per gli stabilimenti industriali può essere utilizzato, con gli opportuni adattamenti, lo stesso approccio descritto con riferimento agli edifici civili residenziali</i></p>

In attesa di disporre delle informazioni e dei dati necessari a definire uno specifico caso di studio e dunque a condurre un'attendibile valutazione economica dei danni producibili da un

evento *Natech*, è possibile, in questa sede, sviluppare un'analisi economica preliminare di tipo "S.W.O.T."<sup>2</sup>

La validità dell'analisi S.W.O.T., come noto, è strettamente connessa alla completezza dell'analisi preliminare condotta. In altre parole, il fenomeno che viene analizzato deve essere preliminarmente studiato in maniera molto approfondita, al fine di mettere in luce le caratteristiche, le relazioni, le sinergie possibili con altri fattori/proposte/fenomeni. L'analisi "S.W.O.T." dovrebbe condurre all'individuazione di linee guida strategiche in riferimento ad un obiettivo finale da raggiungere.

Dunque, prioritariamente, individuiamo nella riduzione del rischio connesso ad eventi meteorologici estremi per gli stabilimenti assoggettati alla normativa "Seveso" presenti nel territorio nazionale l'obiettivo finale da raggiungere. Tale obiettivo finale viene perseguito attraverso due fasi strettamente connesse: l'analisi della vulnerabilità territoriale e la realizzazione di interventi e/o accorgimenti tecnici idonei ad aumentare la resilienza degli stabilimenti e delle strutture esterne considerate vulnerabili. L'analisi **S.W.O.T.** così strutturata è rappresentata nella matrice seguente, ove vengono rilevati i punti di forza (*Strenghts*) e di debolezza (*Weaknesses*) nonché le opportunità (*Opportunities*) e le minacce (*Treats*) in grado di influenzare il raggiungimento dell'obiettivo finale.

---

<sup>2</sup> (1) "S.W.O.T. (Strenghts-Weakeness-Opportunities-Threats)": metodologia di analisi, propria dell'economia aziendale, in uso da circa cinquanta anni. E' molto diffusa per la valutazione di fenomeni che riguardano il territorio e rappresenta, in contesti caratterizzati da elevata complessità, un mezzo efficace per la razionalizzazione dei processi decisionali.

<u>STRENGTHS</u>	<u>WEAKNESSES</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- riduzione/azzeramento impatto da evento Natech</li> <li>- <i>più approfondita conoscenza del territorio e di eventuali "bersagli" sensibili</i></li> <li>- <i>conoscenza rischi derivanti da livello di vulnerabilità del territorio nazionale</i></li> <li>- <i>la conduzione dell'analisi di vulnerabilità può basarsi su conoscenze ed approcci già consolidati</i></li> <li>- <i>aumento resilienza impianti asserviti a stabilimenti</i></li> <li>- <i>gli interventi/accorgimenti tecnici comportano l'utilizzo di conoscenze e tecnologie diffuse e già utilizzate</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>aumento carico di lavoro per gestori ed autorità competenti coinvolte</i></li> <li>- <i>onere di informare i residenti su le risultanze dell'analisi di vulnerabilità ed i rischi che ne derivano</i></li> <li>- <i>costo dell'analisi sulla vulnerabilità territoriale</i></li> <li>- <i>costo degli interventi sulle infrastrutture territoriali (lungo termine)</i></li> <li>- <i>costo interventi tecnici/accorgimenti sullo stabilimento</i></li> </ul>
<u>OPPORTUNITIES</u>	<u>THREATS</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>riduzione/azzeramento spese per il risanamento ambientale e per il ripristino di infrastrutture e attività civili</i></li> <li>- <i>salvaguardia degli elementi ambientali "vulnerabili"</i></li> <li>- <i>opportuna pianificazione futura di infrastrutture, insediamenti industriali e civili</i></li> <li>- <i>replicabilità degli approcci già in uso per l'analisi della vulnerabilità territoriale</i></li> <li>- <i>replicabilità pratiche industriali per realizzazione interventi (ove si consideri una tipologia di evento naturale ed una tipologia di stabilimento)</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>eventuale rilocalizzazione degli stabilimenti Seveso in base all'analisi condotta sulla vulnerabilità del territorio.</i></li> </ul>

**Legenda colori:** *in rosso* gli aspetti riferiti all'analisi della vulnerabilità territoriale; *in blu* gli aspetti riferiti alla realizzazione di interventi/accorgimenti tecnici per aumentare resilienza stabilimenti; *in nero* gli aspetti riferiti sia all'analisi della vulnerabilità territoriale che alla realizzazione di interventi/accorgimenti tecnici per aumentare resilienza stabilimenti.

### **Gli effetti ambientali connessi all'evento Natech**

Come riportato nel documento "Valutazione dell'impatto sull'ambiente degli incidenti rilevanti" (APAT, 36/2003), tra le cause predominanti degli incidenti chimici risultano: l'errore umano (34%), difetti di apparecchiature (16%) e cedimento di serbatoi/contenitori (9%). Dai dati presentati si può concludere che l'analisi degli effetti ambientali degli incidenti, in base all'esperienza storica, può essere concentrata sugli scenari incidentali di:

- sversamento
- incendio.

Quadro di sintesi degli effetti ambientali di incidenti rilevanti (elaborazione da documento "Valutazione dell'impatto sull'ambiente degli incidenti rilevanti" – APAT/2003)

Scenario incidentale	Pericolosità/Criticità	Conseguenze ambientali	Protezione ambientale
sversamento	Per ambiente aquatico	Contaminazione acque superficiali Contaminazione acque sotterranee Contaminazione falde	i moderni impianti e stoccaggi possono essere progettati in maniera <b>tale da contenere perdite o rilasci nelle acque superficiali e sotterranee</b> ; vi è quindi la <b>possibilità di prevenire questa tipologia di scenario che</b> , nel caso in cui si verifichi, comporta effetti ambientali considerevoli.
incendio.	Per ambiente aquatico	Contaminazione acque superficiali Contaminazione acque sotterranee Contaminazione falde	molto più difficoltosa la protezione dell'ambiente dalle conseguenze degli incendi, a causa dei <b>consistenti volumi di acqua antincendio</b> impiegati per spegnere le fiamme, tali, in genere, da <b>superare la capacità dei sistemi di contenimento adottati</b> , provocando quindi, oltre che inquinamento atmosferico da gas combustibili e inquinamento del suolo da particelle solide sparse dai fumi, anche danni ambientali per contaminazione delle acque sotterranee e superficiali.
	Per l'aria	Contaminazione componente aria e suolo (ricaduta)	La pirolisi di una vasta gamma di materiali e sostanze chimiche provoca la formazione ed il rilascio di inquinanti quali diossine e furani, idrocarburi policiclici aromatici (PAH) e metalli pesanti.

Di seguito è riportato un quadro di sintesi delle sostanze pericolose più critiche rispetto all'analisi effettuata nel contesto del documento APAT:

(elaborazione da documento "Valutazione dell'impatto sull'ambiente degli incidenti rilevanti" – APAT/2003)

Criticità	Sostanza
sostanze molto tossiche e persistenti nell'ambiente aquatico	Sostanze di tipo inorganico (cianuri) ed organico (fenoli e composti)
sostanze tossiche per gli organismi acquatici e persistenti nel loro ambiente	Sostanze inorganiche (criolite) ed organiche (cumene)
sostanze molto tossiche per gli organismi acquatici ma non persistenti in tale ambiente	solfo di potassio
Sostanze con effetti nocivi per l'ambiente aquatico	pesticidi, erbicidi, insetticidi (es. endosulfan, disulfoton, parathion, lindane)

Altre sostanze per l'ambiente acquatico	derivati del petrolio (es. benzina, kerosene, oli combustibili)
	schiume antincendio e prodotti di pirolisi: tali sostanze sono connesse con la contaminazione dell'ambiente acquatico per effetto dello sversamento delle acque antincendio utilizzate nello spegnimento di grossi incendi, come quelli ad esempio in stoccaggi di pesticidi/fertilizzanti.
	rifiuti e scarti di impianti

Particolare attenzione meritano le sostanze derivate dal petrolio, corrispondenti a miscele complesse prevalentemente composte da idrocarburi non solubili in acqua. In particolare quelle maggiormente coinvolte negli incidenti risultano:

- prodotti di raffinazione del petrolio
- pesticidi
- composti del cloro
- ammoniacca
- acidi minerali.

*Tipi di incidenti prevedibili in impianti fissi e probabili forme di contaminazione (elaborazione da documento "Valutazione dell'impatto sull'ambiente degli incidenti rilevanti" – APAT/2003)*

Tipi di incidenti	Potenziale impatto/inquinamento causato
<b>Sversamenti di sostanze chimiche</b>	contaminazione degli habitat acquatici
	inquinamento locale del suolo
	inquinamento delle acque sotterranee
	inquinamento atmosferico
<b>Incendi di stoccaggi di sostanze chimiche</b>	contaminazione degli habitat acquatici per effetto dello sversamento di acque antincendio e di rottura di serbatoi di stoccaggio
	inquinamento locale del suolo per effetto dello sversamento di acque antincendio e della rottura di serbatoi di stoccaggio
	inquinamento delle acque sotterranee per effetto dello sversamento di acque antincendio e di rottura di serbatoi di stoccaggio
	inquinamento atmosferico da sostanze gassose combuste e da volatilizzazione di sostanze originarie
	contaminazione localizzata e dispersa del suolo per effetto della caduta di particelle dall'atmosfera
<b>Incendi che coinvolgono combustibili liquidi e gassosi</b>	inquinamento atmosferico da sostanze gassose combuste e da volatilizzazione di sostanze originarie
	danni potenziali ad ambienti acquatici da sversamento di acque antincendio
	danni potenziali al suolo da sversamento di acque antincendio
<b>Rilasci gassosi di composti volatili</b>	generalmente solo inquinamento atmosferico a breve termine
	inquinamento potenziale per alcuni ambienti acquatici
<b>Rilasci gassosi di composti semi-volatili</b>	inquinamento atmosferico a breve termine
	inquinamento a lungo termine e potenzialmente dispersivo del suolo
	inquinamento potenziale per alcuni ambienti acquatici
<b>Esplosione di gas</b>	impatto ambientale generalmente minimo
	potenziali danni ecologici da effetti dell' esplosione (effetti domino)

*Effetti ambientali di un incidente rilevante ed eventi Natech: quadro sintetico di confronto*

Evento	Effetti ambientali principali
Effetti ambientali incidente rilevante	lo scenario di maggior interesse è quello dei rilasci
	l'industria chimica di processo e lo stoccaggio appaiono le tipologie di attività più a rischio
	sostanze coinvolte: lo stato fisico delle sostanze più frequentemente coinvolte è quello liquido .
	Tra le macroclassi di sostanze coinvolte, gli idrocarburi risultano dominanti per il 57% (grezzo, idrocarburi liquidi e composti aromatici);
	Tra i non idrocarburi principalmente coinvolti negli scenari incidentali risultano cloro, ammoniaca, acidi (cloridrato, solforico), cianuri e pesticidi.
	L'ambiente acquatico (per lo più superficiale) è quello più frequentemente colpito dagli eventi incidentali, seguito dalla fauna (soprattutto ittica coerentemente con quanto appena rilevato) e quindi dal suolo e dall'atmosfera.
	la rete fluviale appare la tipologia di acque superficiali più colpita, principalmente a causa del rilascio di idrocarburi liquidi da attività di trasporto e stoccaggio
Effetti evento Natech (sisma)	Le apparecchiature più vulnerabili sono quelle per il trasporto e per lo stoccaggio dei materiali (pipelines, pipeworks, storage tanks).
	gran parte degli incidenti Natech (70%) avviene con il rilascio di sostanze pericolose
	la probabilità di danno con perdita di contaminante (LOC) è molto più elevata dei danni strutturali (26%)
	le strutture maggiormente colpite sono le tubazioni e i serbatoi non in pressione. Per i serbatoi sono attivati fenomeni di vario tipo quali: sloshing, buckling, elephantfoot buckling , rotture interfaccia fondo-mantello serbatoi, cedimenti localizzati del terreno intorno e sottostanti i serbatoi, ecc

### **La percezione dell'evento Natech su impianti RIR: esigenze ed azioni prioritarie in riferimento alla Seveso III**

Gli stabilimenti industriali a rischio di incidente rilevante sono costituiti sia da strutture costruttive di tipo civile (i capannoni industriali in cui sono alloggiati gli impianti, strutture adibite ad uffici, ecc) sia elementi di impianto di diversa tipologia, quali serbatoi, pipe rack e componenti di industrie meccaniche e di processo (forni, torri di raffinazione, colonne, reattori, compressori, etc.). Queste diverse tipologie di elementi, interagiscono tra loro nel caso ad esempio di un'azione sismica. La legislazione vigente sulla sicurezza strutturale delle costruzioni (ed in particolare la Legge n.1086/71 e la Circolare n.11951/1974, la NTC2008, ecc) regola la progettazione e le procedure di controllo delle costruzioni di tipo civile, ma non dell'impiantistica. Per la progettazione impiantistica si seguono di norma standard internazionali, in mancanza di una normativa nazionale specifica che tenga in debito conto le possibili azioni sismiche. L' Eurocodice 8 "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle Strutture" dell'UNI tratta strutture che possono essere estremamente diverse in aspetti di base quali:

- la natura e la quantità del prodotto immagazzinato ed il pericolo potenzialmente associato;
- i requisiti funzionali durante e dopo un evento sismico;
- le condizioni ambientali.

Nel documento vengono identificati due stati limite:

#### Stato limite di servizio

- piena integrità: Il requisito di "piena integrità" implica che il sistema preso in considerazione, con un insieme specificato di elementi accessori integrati con esso, rimanga in piena efficienza e privo di perdite sottoposto ad un evento sismico con una probabilità annuale di superamento il cui valore deve essere stabilito sulla base delle conseguenze della sua perdita di funzionalità e/o delle perdite del suo contenuto.
- livello operativo minimo: Il requisito di "livello operativo minimo" implica che il sistema preso in considerazione può subire un certo livello di danneggiamento di alcuni suoi componenti, fino al punto però, che dopo le operazioni di controllo del danneggiamento, la capacità del sistema possa essere ripristinata ad un livello prefissato di operatività. L'evento sismico per cui questo stato limite non deve essere superato avrà una probabilità annuale di superamento il cui valore deve essere stabilito basandosi sulle perdite relative alla ridotta capacità del sistema e alle riparazioni necessarie.

#### Stato limite ultimo

Lo stato limite ultimo del sistema è definito in corrispondenza alla perdita di capacità operativa del sistema, con la possibilità di un recupero parziale (condizionato ad una quantità accettabile di riparazioni).

Per elementi particolari di una rete, come anche per strutture indipendenti il cui collasso totale comporterebbe dei grossi rischi, lo stato limite ultimo viene definito come quello stato di danneggiamento che, quantunque possa essere grave, esclude tuttavia tipi di collasso fragile e permette un rilascio controllato del contenuto. Quando il collasso dei suddetti elementi non comporta rischi apprezzabili per vite umane o beni, lo stato limite ultimo può essere definito come quello corrispondente al collasso completo.

L'evento sismico di riferimento per il quale lo stato limite ultimo non deve essere superato deve essere stabilito sulla base delle perdite indirette e dirette causate dal collasso del sistema.

Comunque per gli impianti industriali la filosofia di progetto non può essere più direttamente legata a soli concetti di danneggiamento e di collasso strutturale ma deve mettere in conto il soddisfacimento di requisiti prestazionali più sofisticati, che potrebbero, ad esempio, esprimersi nel modo seguente:

- l'impianto deve rimanere pienamente funzionale a seguito di un terremoto moderato;
- l'impianto, pur potendo subire una sospensione della sua funzionalità, non deve dare luogo ad incidente rilevante, a seguito di un terremoto violento.

*Rispetto alla attuale normativa applicabile per gli impianti normati dalla direttiva Seveso, l'analisi degli eventi NaTech viene inclusa nei Rapporti di Sicurezza, ma solo in modo qualitativo.* La vulnerabilità dei sistemi di sicurezza (ad es. antincendio, life saving) è altresì critica. Danneggiamenti diffusi sono infatti spesso osservati, sia esternamente agli edifici sia all'interno degli impianti, che coinvolgono elementi non strutturali e impianti accessori, con perdita di energia elettrica e di approvvigionamento idrico, e conseguenti danni agli impianti industriali e fuoriuscita di sostanze contaminanti.

Facendo riferimento al Capitolo 2 DPCM 31.03.1989 (Applicazione dell'art. 12 del D.P.R. 17 maggio 1988, n. 175, concernente rischi rilevanti connessi a determinate attività industriali) rispetto all'identificazione degli incidenti è richiesto che : "*Si verifichi se gli eventuali danni subiti dall'impianto ..... in conseguenza di eventi esterni siano tali da dare luogo ad effetti pericolosi*". Va ricordato che un incidente rilevante si definisce come un evento incidentale di grave entità in cui sostanze pericolose provocano un danno immediato o differito all'uomo o all'ambiente. Al riguardo nel rapporto di sicurezza sono valutati i rischi di incidenti rilevanti che caratterizzano lo stabilimento e sono individuate le misure di prevenzione e protezione esistenti atte a ridurre la probabilità di accadimento di un evento o a limitarne le conseguenze.

Come mostrato in precedenza, gli eventi naturali costituiscono una potenziale causa di incidenti rilevanti, e pertanto influiscono sui risultati dell'analisi di rischio. Gli eventi naturali possono quindi comportare:

- un incremento della frequenza di accadimento associata agli eventi incidentali;

- una estensione delle aree di danno, determinata sia dal contemporaneo verificarsi di più eventi incidentali di magnitudo superiore, sia dalla possibile indisponibilità dei sistemi di protezione e di mitigazione.

Per l'attuazione dell'armonizzazione dell'approccio normativo per tutte le tipologie di infrastrutture industriali, occorre tenere conto della estrema complessità del relativo sistema normativo cogente afferente ai settori citati. A questo riguardo, giova ricordare che gli impianti RIR, afferiscono a sistemi normativi diversi (direttiva "Seveso" e normativa discendente per gli impianti RIR). Da questo punto di vista, appare consigliabile promuovere con le autorità competenti una riflessione ai fini dell'armonizzazione dell'approccio normativo, non può prescindere da una completa ed esaustiva analisi del contesto e della complessità di un tale assetto.

Possibili linee di indirizzo prioritarie, rispetto alla prevenzione e protezione da eventi Natech, possono essere considerate :

- a) la riduzione dell'entità delle forze che il sisma trasmette alle strutture (tecnologie di controllo delle vibrazioni: sistemi passivi, attivi, semi-attivi, ibridi)
- b) la verifica e riduzione degli effetti più rilevanti del sisma sugli impianti (es. mancanza di energia elettrica, riduzione pressione risorsa idrica, sloshing, ecc)

Importante presidio di prevenzione è rappresentato dalla progettazione antisismica di nuovi impianti RIR e l'adeguamento o miglioramento (retrofit) di quelli esistenti in base alla loro complessità e pericolosità, che permetta una significativa mitigazione della vulnerabilità sismica di tali impianti, anche a costi contenuti

Molto importante è l'analisi della vulnerabilità sismica delle diverse tipologie di impianti RIR ed i criteri per la definizione di tecniche di mitigazione del rischio sismico di tali impianti, sia di nuova costruzione sia esistenti, e per la relativa progettazione.

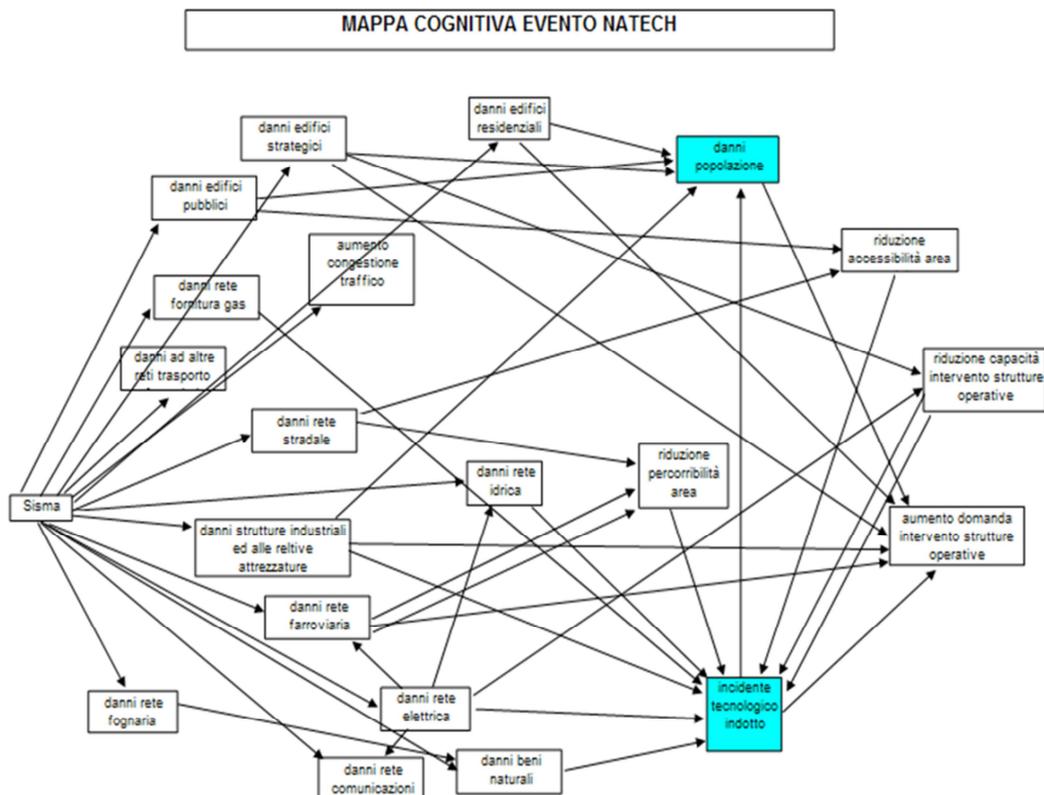
## Mappatura dei rischi naturali che possono dare luogo ad eventi Natech in Italia

L'analisi storica di eventi Natech, ha portato ad alcune considerazioni di massima sulle criticità potenziali riscontrate per impianti RIR interessati da un forte sisma o da eventi meteorologici estremi.

Nel caso ad esempio di un forte sisma ed in particolare si può fare riferimento alle due famiglie di effetti sugli impianti RIR:

- vulnerabilità locale al sisma connessa alla complessità del lay out, alla esistenza di molteplici connessioni, apparecchiature, componenti, complessità di funzionamento
- vulnerabilità generale: le operazioni di processo, le quali, realizzate con precisa sequenza e precise condizioni al contorno, determinano la propagazione della "crisi" a partire da un elemento all'interno del sistema impiantistico
- l'impianto può dare luogo ad eventi incidentali rilevanti con attivazione di effetti domino a seguito di sisma violento

Fig. 5 Mappa cognitiva evento Natech sismico



La richiesta di prestazione di un impianto RIR a seguito di sisma prevede che:

- L'impianto deve rimanere funzionante a seguito di sisma di moderata entità
- L'impianto pur potendo subire una sospensione della sua funzionalità non deve dare luogo ad incidente rilevante a seguito di sisma violento

In mancanza di una normativa ad hoc, un valido riferimento per la progettazione è fornito dagli impianti nucleari, per i quali si definiscono due livelli di evento sismico:

- il SafeShutdownEarthquake (SSE), che corrisponde al sisma più violento di quelli ritenuti possibili al sito, ossia a bassissima probabilità di accadimento: fino a tale intensità deve essere garantita la sicurezza della popolazione e degli operatori e, a tal fine, deve essere possibile lo spegnimento rapido dei reattori e devono restare integri componenti e strutture essenziali per la sicurezza;

- l'OperationalBasisEarthquake (OBE), fino al quale va garantito il funzionamento dell'impianto in condizioni di sicurezza e, quindi, l'integrità assoluta di componenti e strutture necessari per il funzionamento in tali condizioni.

Il primo evento è relativo a valori molto elevati del periodo di ritorno o, meglio, al massimo terremoto credibile, mentre il secondo è relativo ad una situazione più frequente e meno pericolosa.

### **RIR e rischio sismico**

Sino al 2003 il territorio nazionale era stato classificato in tre categorie sismiche a diversa severità.

Le regioni centrali e meridionali, hanno la quasi totalità degli impianti nelle prime tre zone sismiche. Le regioni che hanno il maggior numero di impianti in zona sismica sono l'Emilia Romagna, la Campania, la Sicilia il Lazio e la Toscana.

Tabella 1 – Elaborazione ing. Mariano Ciucci - INAIL – DIPIA, 2007

	Zona I		Zona II		Zona III	
	Art 6	Art8	Art 6	Art8	Art 6	Art8
Numero impianti	21	16	216	117	140	147
Percentuale	5,6%	5,7%	57,6%	41,8%	37,1%	52,5%

Tabella 2 – Elaborazione ing. Mariano Ciucci - INAIL – DIPIA, 2007

REGIONE	N° impianti tot.		N° impianti in zona sismica		N° impianti in I cat.		N° impianti in II cat.		N° impianti in III cat.		% impianti in zona sismica	
	art. 6	art. 8	art. 6	art. 8	art. 6	art. 8	art. 6	art. 8	art. 6	art. 8	art. 6	art. 8
ABRUZZO	12	8	5	3	--	--	5	3	--	--	41,7%	37,5%
BASILICATA	4	2	3	1	--	1	3	--	--	--	75%	50%
CALABRIA	5	6	5	6	3	3	2	3	--	--	100%	100%
CAMPANIA	44	28	40	27	--	--	19	5	21	22	90,9%	96,4%
EMILIA-ROMAGNA	66	46	18	2	--	--	18	2	--	--	27,3%	4,3%
FRIULI-VEN.GIULIA	20	11	12	3	4	2	8	1	--	--	60%	27,3%
LAZIO	44	35	24	13	--	--	24	13	--	--	54,5%	37,1%
LIGURIA	17	16	2	2	--	--	2	2	--	--	11,8%	12,5%
LOMBARDIA	144	113	1	1	--	--	1	1	--	--	0,7%	0,9%
MARCHE	8	7	8	7	--	--	8	7	--	--	100%	100%
MOLISE	3	4	1	1	--	--	1	1	--	--	33,3%	25%
PIEMONTE	80	38	--	1	--	--	--	1	--	--	--	2,6%
PUGLIA	26	24	9	6	--	--	6	6	3	--	34,6%	25%
SARDEGNA	22	28	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
SICILIA	33	34	32	33	--	--	32	33	--	--	97%	97,1%
TOSCANA	42	19	28	11	--	--	28	11	--	--	66,7%	57,9%
TRENTINO-ALTO ADIGE	12	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
UMBRIA	14	4	11	3	--	--	11	3	--	--	78,6%	75%
VAL D'AOSTA	2	2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
VENETO	51	40	3	--	--	--	3	--	--	--	5,9%	--
<b>ITALIA</b>	<b>649</b>	<b>473</b>	<b>202</b>	<b>120</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>172</b>	<b>92</b>	<b>24</b>	<b>22</b>	<b>31,1%</b>	<b>25,4%</b>

Nel 2003 con l'O.P.C.M. 3274 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, suddiviso in quattro zone, basati sugli studi e sulle elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo. Con l'O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006 è stato aggiornato lo studio di pericolosità di riferimento nazionale che ha fornito alle Regioni uno strumento per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

Se si confronta la localizzazione degli impianti soggetti al D.Lgs.(Decreto Legislativo) n. 334/99 (ora dlgs 105/2015) con la nuova classificazione sismica del territorio italiano, indicata nelle Ordinanze della Presidenza del Consiglio dei Ministri (DPCM) n. 3274 del 20/03/2003 e n. 3519 del 28/04/2006 si ricavano alcuni dati interessanti, che fanno riflettere sulla rilevanza del problema "sismico". Si possono notare, infatti, alcune zone caratterizzate da un'alta concentrazione di stabilimenti "RIR" e da un alto grado di sismicità

Numero di stabilimenti RIR suddivisi per intervalli di accelerazione sismica ( rif.. metodo NTC 2008)

Zona sismica (rif. OPCM 3519/06)	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)	Numero stabilimenti
1	$ag > 0.25$	31 (3%)
2	$0.15 < ag \leq 0.25$	318 (29%)
3	$0.05 < ag \leq 0.15$	603 (54%)
4	$ag \leq 0.05$	161 (14%)

Numero di stabilimenti RIR suddivisi per classi di pericolosità sismica del sito (rif. OPCM n.3907/10)	
Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( )	Numero stabilimenti
$ag \geq 0.125$	517
$ag < 0.125$	596

Per quanto attiene alle verifiche sismiche da effettuare negli stabilimenti ricadenti nell'ambito del D.Lgs. 334/1999 e s.m.i., il Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile Nazionale del 21 ottobre 2003 ha individuato gli stabilimenti R.I.R. quali opere infrastrutturali d'interesse strategico e quindi assoggettati agli obblighi dei commi 3, 4 e 5 dell'Art. n 2 dell'O.P.C.M.

Utile riferimento sono le "Linee guida per la verifica sismica di impianti a rischio di incidente rilevante" del Comitato Termotecnico Italiano (1998) in cui sono evidenziate alcune difficoltà per verifiche su impianti:

- impianti esistenti realizzati in assenza di norme sismiche;
- norme sismiche elaborate per edifici civili non trattavano i comportamenti tipici di impianti e apparecchiature sottoposti a moti ondulatori (tenuta e di rottura dei giunti di tubazioni, deformazione a zampa d'elefante, sloshing, buckling e uplift nei serbatoi, fenomeni di interazione tetto-mantello nei serbatoi, ecc...)

Le norme erano tese a evitare danni o crolli delle strutture e non consideravano le peculiarità intrinseche di un impianto R.I.R.:

- mantenere la funzionalità per sisma di intensità media;
- non dare origine a incidenti rilevanti o a effetto "Domino" per sisma di elevata intensità.

### **RIR e rischio idrogeologico e idrometeorologico**

7.145 comuni italiani, pari all'88,3% del numero totale, sono a rischio frane e alluvioni; di questi 1.640 hanno nel loro territorio solo aree a pericolosità da frana elevata P3 e molto elevata P4 (PAI), 1.607 solo aree a pericolosità idraulica media P2 (D.Lgs. 49/2010), mentre 3.898 hanno nel loro territorio sia aree a pericolosità da frana che idraulica. Sette Regioni (Valle D'Aosta, Liguria, Emilia-Romagna, Toscana, Marche, Molise e Basilicata) hanno il 100% di comuni a rischio. In termini di superficie, tali aree a pericolosità rappresentano il 15,8% del territorio nazionale (47.747 km<sup>2</sup>) (Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio. Rapporto 2015. ISPRA, Rapporti 233/2015).

Figura 6 – Comuni con pericolosità P3 e P4

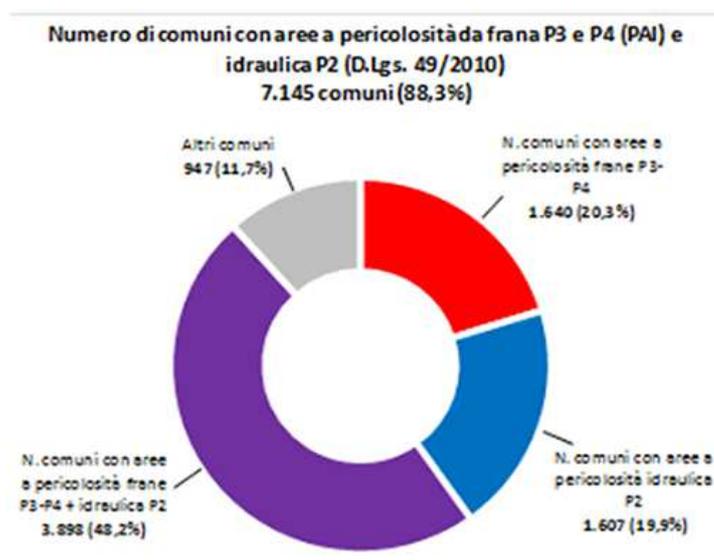
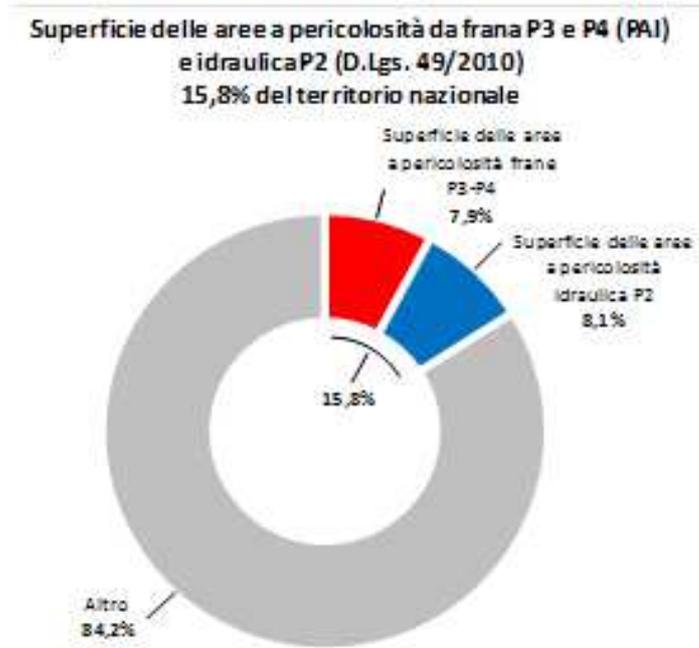


Figura 7 – Superficie con pericolosità P3 e P4



Per quanto riguarda le frane, l'Italia è uno dei paesi europei maggiormente interessati da tali fenomeni, con 528.903 frane (area di 22.176 km<sup>2</sup>, pari al 7,3% del territorio nazionale). Tali dati derivano dall'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI) realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome secondo modalità standardizzate e condivise. L'Inventario IFFI è la banca dati sulle frane più completa e di dettaglio esistente in Italia, per la scala della cartografia adottata (1:10.000) e per il numero di parametri ad esse associati (<http://www.progettoiffi.isprambiente.it>). Un quadro sulla distribuzione delle frane in Italia può essere ricavato dall'indice di franosità, pari al rapporto tra l'area in frana e la superficie totale, calcolato su maglia di lato 1 km.

Ogni anno sono circa un centinaio gli eventi principali di frana sul territorio nazionale che causano vittime, feriti, evacuati e danni a edifici, beni culturali e infrastrutture lineari di comunicazione primarie (oltre 200 eventi principali nel 2015, 211 nel 2014, 112 nel 2013, ecc.).

Per quanto riguarda le alluvioni, considerate come un allagamento temporaneo di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua e che possono essere provocate da fiumi, torrenti, canali, laghi e, per le zone costiere, dal mare, la Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni (Direttiva Alluvioni o Floods Directive – FD), ha lo scopo di istituire un quadro di riferimento per la valutazione e la gestione di questa tipologia di rischio. Essa è stata attuata in Italia con il D.Lgs. 49/2010.

Molto utile sarebbe per una impianto a rischio di incidente rilevante conoscere esattamente la mosaicatura della pericolosità idraulica. L'ISPRA nel 2015 ha realizzato la mosaicatura delle aree a pericolosità idraulica perimetrata dalle Autorità di Bacino, Regioni e Province Autonome ai sensi del D. Lgs. 49/2010. La mosaicatura è stata effettuata per i tre scenari di pericolosità: elevata P3 con tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (alluvioni frequenti), media P2 con tempo di ritorno fra 100 e

200 anni (alluvioni poco frequenti) e bassa P1 (scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi). Le aree a pericolosità idraulica elevata in Italia sono pari a 12.218 km<sup>2</sup> (4% del territorio nazionale), le aree a pericolosità media ammontano a 24.411 km<sup>2</sup> (8,1%), quelle a pericolosità bassa (scenario massimo atteso) a 32.150 km<sup>2</sup> (10,6%)

Di seguito sono descritti alcuni progetti di estremo interesse in ambito sia di analisi di rischio sia di un l'incremento della velocità e capacità di risposta ad eventi idroemeteorologici da parte di impianti RIR soggetti a questa tipologia di rischio.

#### *Progetto IFFI*

L'acronimo di IFFI è "Inventario dei fenomeni franosi in Italia". Il Progetto IFFI, realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome, fornisce un quadro dettagliato sulla distribuzione dei fenomeni franosi sul territorio italiano. L'inventario ha censito ad oggi oltre 499.511 fenomeni franosi che interessano un'area di 21.182 km<sup>2</sup>, pari al 7% del territorio nazionale. I principali prodotti e servizi realizzati dal Progetto IFFI sono:

- a) il Servizio di cartografia online, che consente la visualizzazione delle frane e l'interrogazione dei principali parametri ad esse associati
- b) il Rapporto sulle frane in Italia (Rapporti ISPRA, 78/2007), che fornisce una sintesi dei dati sul dissesto a scala sia nazionale sia regionale.

#### Scheda di Censimento dei Fenomeni Franosi

Ogni fenomeno franoso viene censito mediante la compilazione di una Scheda Frane, articolata su tre livelli di approfondimento progressivo:

1° livello: contiene le informazioni di base (ubicazione, tipologia del movimento, stato di attività) e deve essere compilato obbligatoriamente per ogni frana;

2° livello: presenta un maggiore approfondimento della conoscenza (morfometria, geologia, litologia, uso del suolo, cause, date attivazioni precedenti);

3° livello: : facoltativo; contiene dettagliate informazioni sui danni, sulle indagini e sugli interventi di sistemazione;

Come risultati a livello di prodotti e Servizi si possono declinare i seguenti;

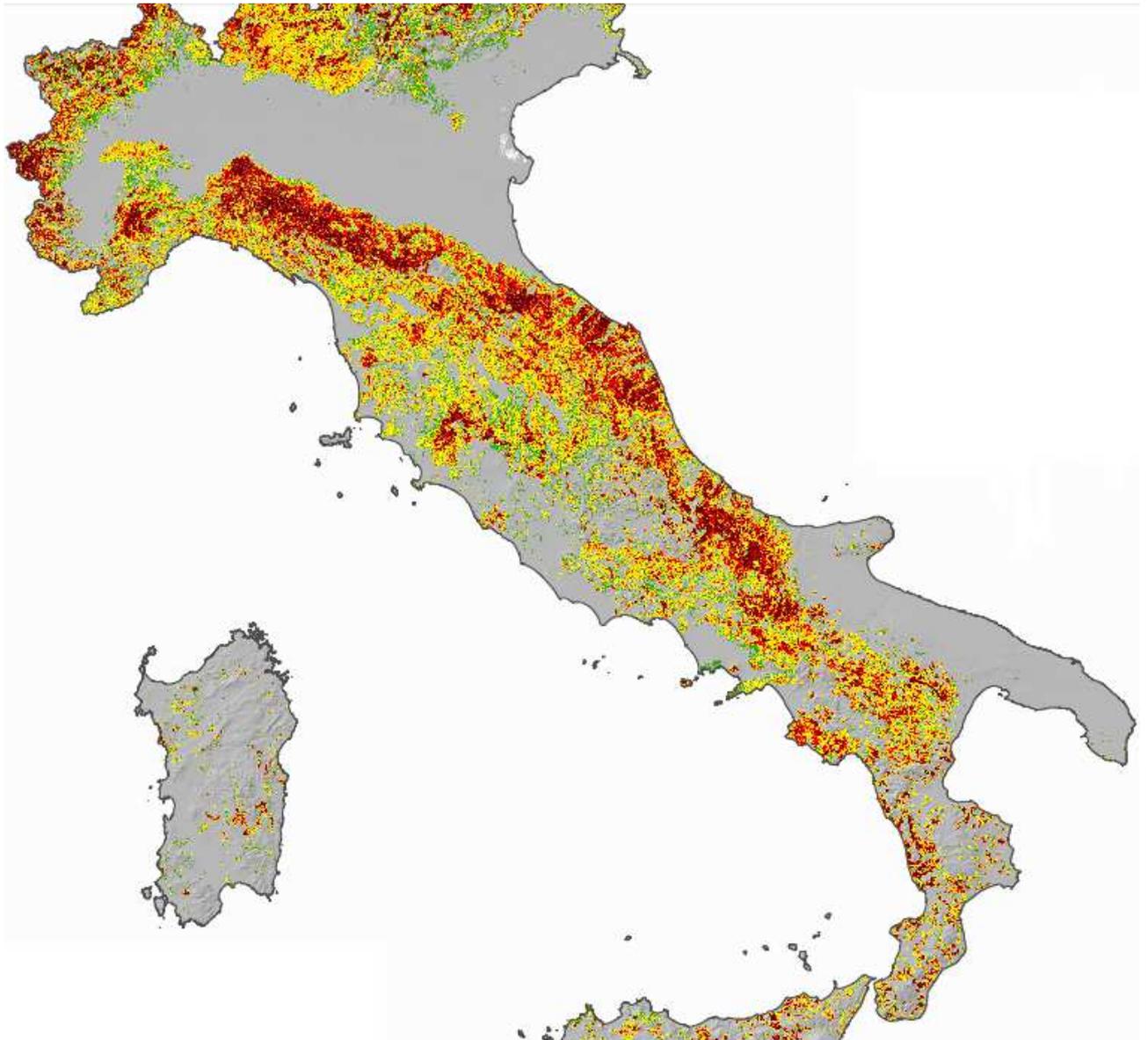
- Banca dati vettoriale, alfanumerica e iconografica;
- Rapporto sulle frane in Italia (Rapporti APAT 78/2007);
- Landslides in Italy – Special Report 2008 (Rapporti ISPRA 83/2008, in English);
- Cartografia online del Progetto IFFI;
- statistiche nazionali ed elaborazione dati (Annuario dei dati ambientali, ISPRA);
- Carte tematiche a scala nazionale.

Ogni fenomeno franoso viene cartografato (database cartografico) attraverso tre elementi:

- PIFF (Punto Identificativo Fenomeno Franoso): punto più elevato del coronamento della frana.
- Poligono: quando la superficie della frana è cartografabile alla scala di rilevamento adottata (es. 1 ettaro per scala 1:25.000).
- Linea: quando la larghezza della frana non è cartografabile (es. colamenti rapidi).
- La rappresentazione di tipo C della figura a destra viene utilizzata per fenomeni franosi che presentano alla fine del canale di transito un'area di espansione.

Di seguito è riportata la carta dell'indice di franosità a livello nazionale tratta da dal sito dell'ISPRA.

*Figura 8 – Indice di franosità in Italia*



### *Progetto POLARIS (CNR-IRPI)*

Il sistema dei Centri Funzionali di Protezione Civile, coordinato dal Dipartimento della Protezione Civile (DPC), ha suddiviso il territorio nazionale in 134 "Zone di Allerta" (ZA) di protezione civile (come da aggiornamento del 2 agosto 2012). Le ZA rappresentano ambiti omogenei per la risposta meteo-idrologica del territorio in occasione di eventi o fenomeni meteo-idrologici. Il numero delle ZA varia da regione a regione, con un minimo di due ZA in Trentino–Alto Adige e di tre ZA in Basilicata, Molise e Friuli Venezia Giulia, sino a un massimo di 25 ZA in Toscana. A tale scopo, l'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Centro di Competenza (CC) di protezione civile, ha redatto apposite schede informative per ciascuna delle 134 ZA. Le schede forniscono una visione globale (nazionale) per quanto possibile omogenea, ancorché certamente non esaustiva o definitiva, delle caratteristiche della franosità e della pericolosità da frana in ogni ZA. Le schede danno inoltre informazioni sintetiche sull'impatto che le frane hanno avuto sulla popolazione nel periodo 1950-2011. Con il riferimento alla pericolosità si tenta di contribuire oltre che alla definizione di "dove" possono avvenire le frane (susceptibilità), anche a fornire informazioni ed elementi utili, sebbene non esaustivi, alla definizione di "quando" possono avvenire le frane e di quale sia l'impatto atteso dei fenomeni franosi, in particolare sulla popolazione.

*Figura 9 - Schema delle 134 Zone di Allerta (tratto da <http://viewer-za.irpi.cnr.it/>)*



Di seguito è riportato l'elenco parziale delle zone di allerta graficamente riportate nella figura precedente (<http://polaris.irpi.cnr.it/elenco-zone-allerta/>)

	PIEM-H	Scrvia	Piemonte
	PUGL-C	Terra di Bari	Puglia
	PUGL-B	Capitanata	Puglia
	PUGL-E	Bacini Lato-Lama di Lenne	Puglia

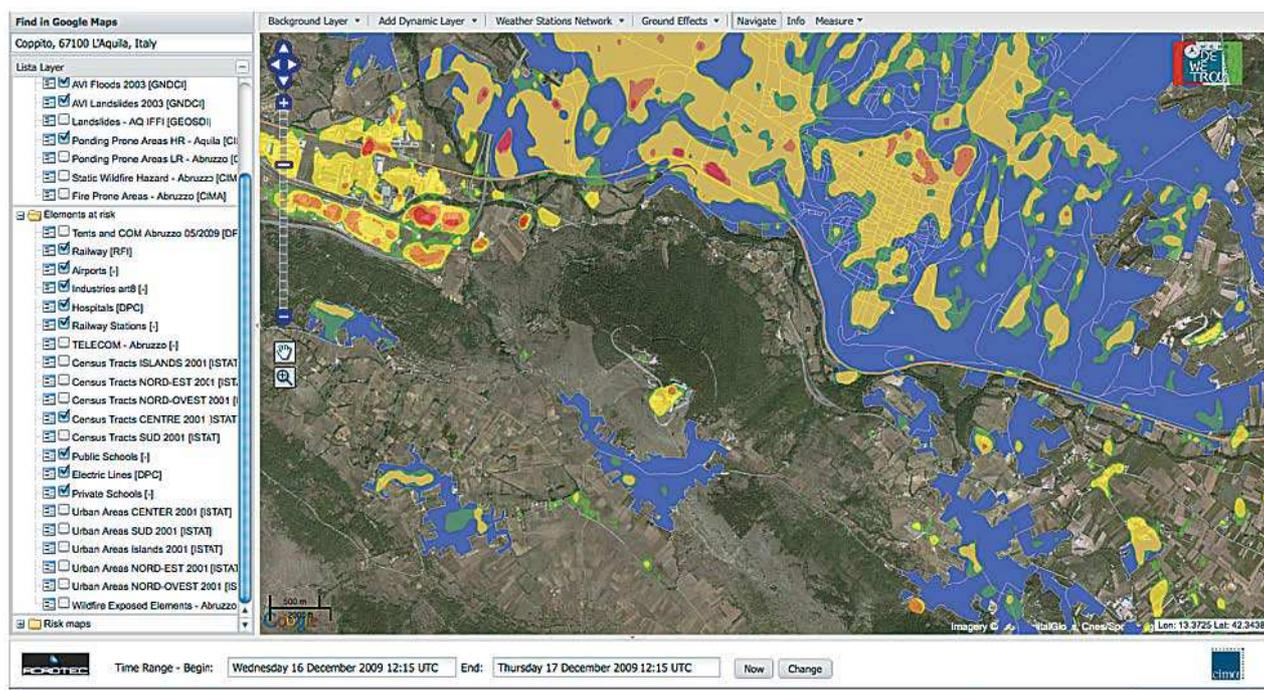
	PUGL-H	Subappennino Dauno	Puglia
	PUGL-I	Basso Fortore	Puglia
	SARD-G	Logudoro	Sardegna
	SARD-C	Bacini Montevecchio-Pischilappiu	Sardegna
	SARD-A	Iglesiente	Sardegna
	SARD-D	Bacini Flumendosa-Flumineddu	Sardegna
	SICI-E	Versante Tirrenico Siciliano	Sicilia
	SICI-A	Monti Peloritani	Sicilia
	SICI-B	Bacino del Simeto	Sicilia
	TOSC-F2	Bruna	Toscana
	TOSC-F1	Orcia	Toscana
	TOSC-F4	Fiora	Toscana
	TOSC-B1	Sieve	Toscana
	TOSC-E1	Casentino	Toscana
	TOSC-E3	ValdSup	Toscana

### *Piattaforma DEWETRA*

La piattaforma DEWETRA è un sistema integrato volto alla previsione, prevenzione e al monitoraggio del rischio idro-meteorologico e di incendi boschivi. Il sistema è basato sulla pronta disponibilità di dati, che vengono messi a disposizione del previsore o dell'operatore di Protezione Civile per costruire scenari di rischio affidabili in tempo reale. L'integrazione di tutti i dati di rilevanza per la gestione del rischio può significativamente aumentare il valore dell'informazione disponibile ed il livello di conoscenza dei previsori e del personale di protezione civile. Differenti fonti di informazione sono gestite all'interno della piattaforma prendendo in considerazione le loro diverse scale spazio-temporali e i gradi di incertezza e affidabilità. La piattaforma Dewetra usa un'architettura software ibrida a tre livelli, dove le elaborazioni sono gestite dallo strato software intermedio. Il middle-ware assicura con robustezza, bilanciamento del carico computazionale, mentre l'interfaccia web-GIS garantisce la capillarità nella distribuzione dell'informazione.

La piattaforma DEWETRA è operativa presso il Centro Funzionale Centrale del Dipartimento di Protezione Civile Nazionale.

*Figura 10 – Esempio di pericolosità idraulico, tratta da <http://viewer-za.irpi.cnr.it>*



DEWETRA è un sistema integrato per il monitoraggio in tempo reale, la previsione e la prevenzione dei rischi naturali. Per sistema si intende la sintesi, l'integrazione ed il confronto necessarie per il monitoraggio strumentale, la vigilanza e la valutazione degli scenari di rischio e della loro possibile evoluzione. Il progetto è stato sviluppato nell'ambito della convenzione tra il Dipartimento della Protezione Civile e la Fondazione CIMA - Centro Internazionale in Monitoraggio Ambientale ed è operativo presso il Dipartimento della Protezione Civile.

DEWETRA utilizza un'architettura ibrida che combina un server integrato per il backup di dati raccolti su base locale e applicazioni web che consentono una distribuzione capillare di queste informazioni. L'applicativo fornisce, attraverso un'interfaccia grafica, informazioni ad alta risoluzione e continuamente aggiornate, consentendo all'utente di monitorare eventi meteorologici, costruire dettagliati scenari di rischio e valutare il potenziale impatto dei fenomeni sulle comunità e sulle infrastrutture.

DEWETRA consente a ogni computer connesso alla rete internet la fruizione integrata, in modalità geografica, di tutti i dati del sistema in modo indipendente dalla sorgente. L'applicativo gestisce infatti sia i dati della piattaforma utilizzata dal Sistema Nazionale dei Centri Funzionali sia quelli territoriali e geospaziali pubblicati come servizi WMS – Web Map Service da altre piattaforme. DEWETRA è in grado di caricare e visualizzare layer geo-riferiti statici e dinamici, permette di consultare i valori di ogni stazione di misura e degli altri strumenti di osservazione più avanzati e offre all'utente strumenti interattivi e funzionalità per l'analisi degli eventi in corso o passati. Per ora le applicazioni sviluppate in DEWETRA sono legate ai fenomeni incendi e inondazioni, scelti come prioritari per la loro frequenza e diffusione.

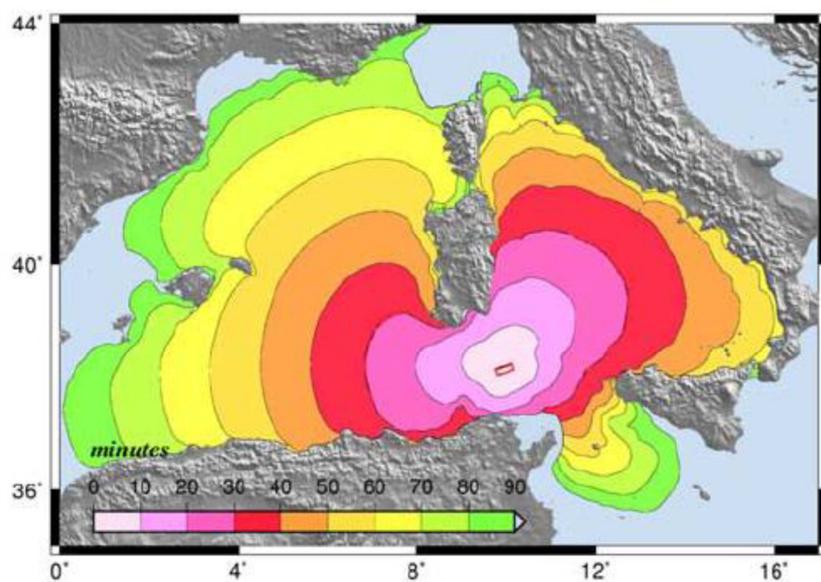
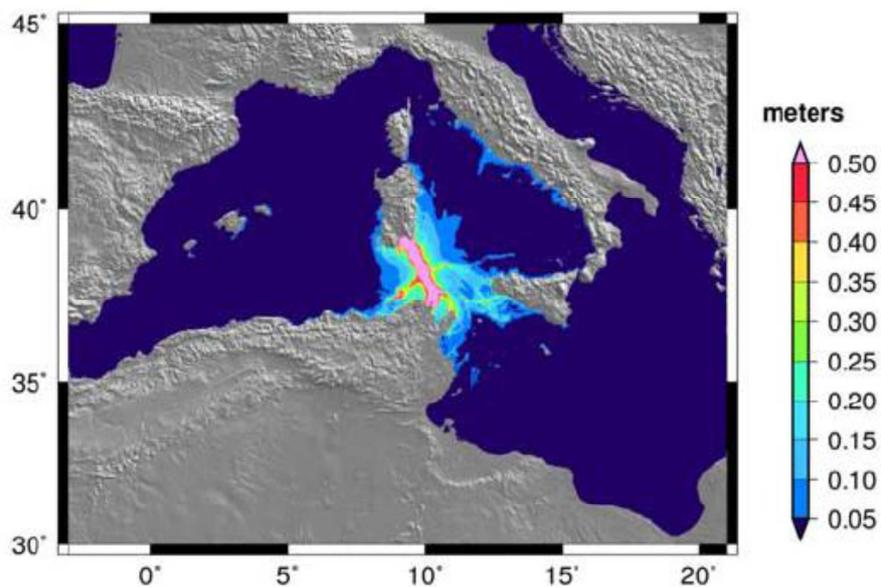
Figura 11 – Possibilità di implementazione di sistemi di early warning nell'ambito delle attività di prevenzione e protezione dai rischi



### ***RIR e rischio tsunami***

un recente studio (Lorito et al., JGR, 2008) evidenzia la possibilità che l'attivazione di sorgenti sismogenetiche nel Mediterraneo possa determinare onde di maremoto in grado di raggiungere le coste italiane. In figura 2.1, ad esempio, sono rappresentate l'altezza dell'onda (non il *run-up*) ed i tempi d'arrivo a seguito di un terremoto generato da una sorgente sismogenetica nell'offshore Algerino-Tunisino.

*Figura 12 - Altezza dell'onda (non il run-up) e tempi d'arrivo a seguito di un terremoto generato da una sorgente sismogenetica nell'offshore Algerino-Tunisino*



Come ulteriore esempio più vicino alle coste italiane, nella figura che segue, sono rappresentate l'altezza dell'onda (non il run-up) e tempi d'arrivo a seguito di un terremoto generato da una sorgente sismogenetica nel Tirreno meridionale.

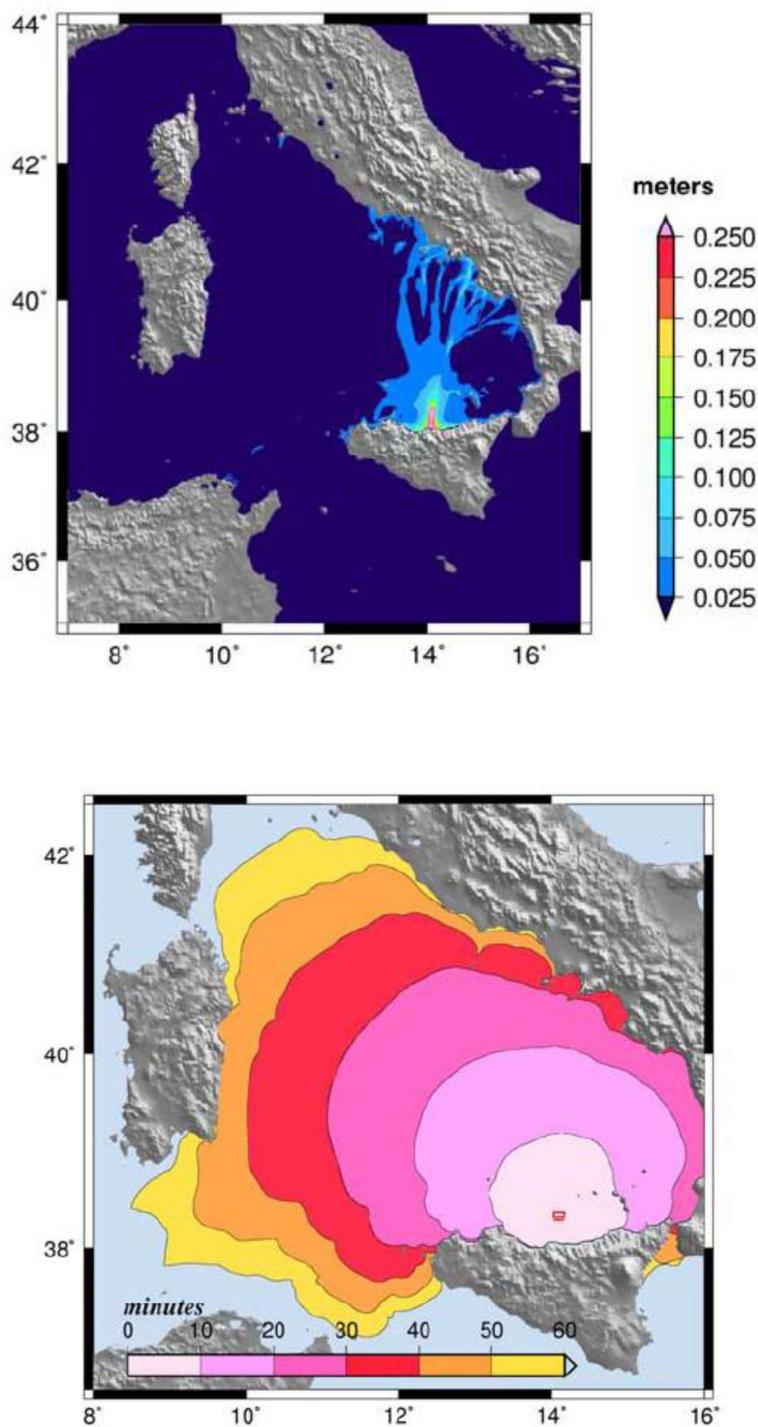
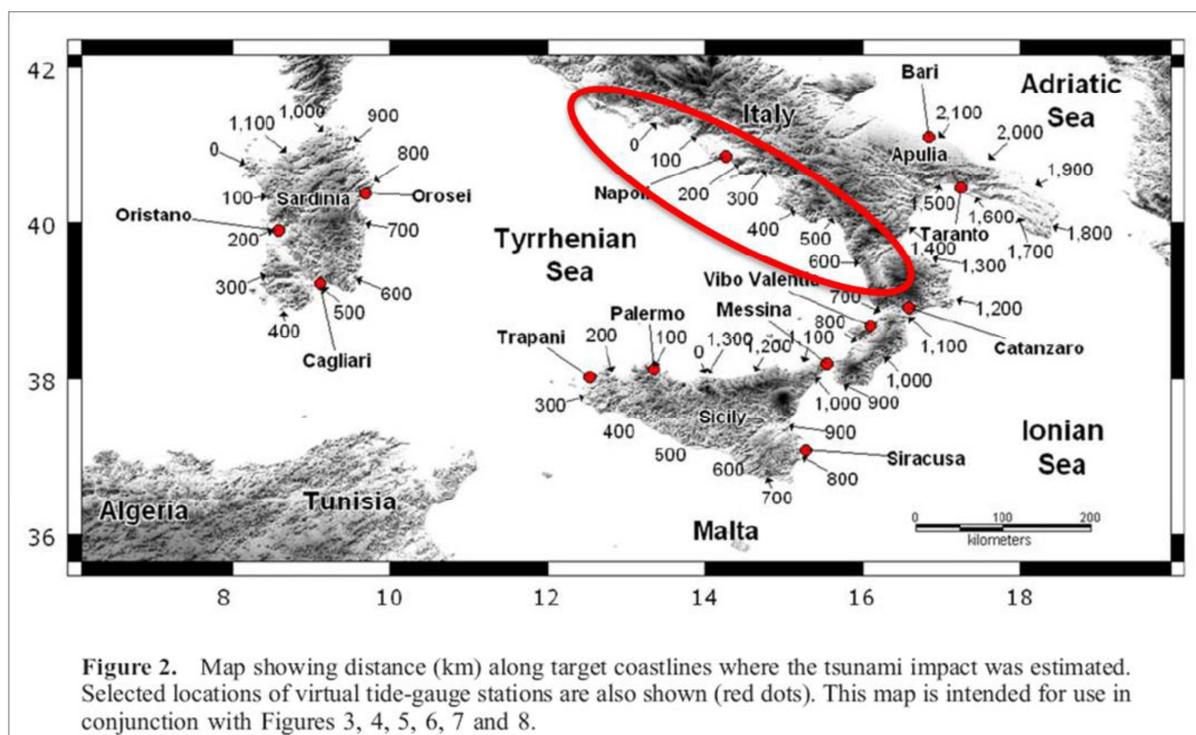


Figura 13 - Altezza dell'onda (non il run-up) e tempi d'arrivo a seguito di un terremoto generato da una sorgente sismogenetica nel Tirreno meridionale

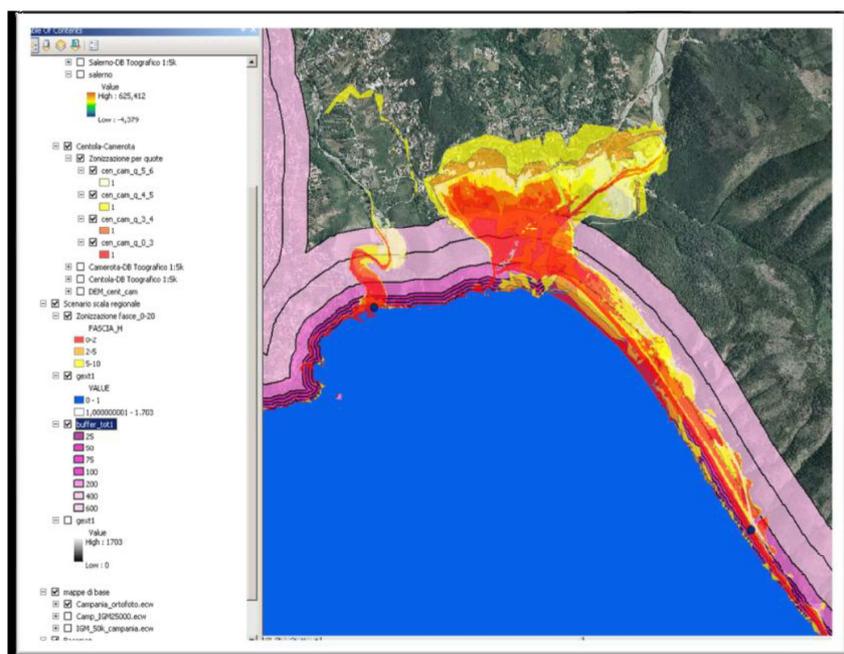
Lo stesso studio, tenendo conto di tutte le possibili sorgenti sismogenetiche che si trovano nelle stesse aree sopra indicate, ha modellato una stima delle possibili altezze delle relative onde di tsunami lungo le coste italiane. Per quanto riguarda il tratto di costa in esame, esso corrisponde nella figura che segue, alle progressive da 0 a 600 km

Figura 14 - Altezza dell'onda (non il run-up) e tempi d'arrivo a seguito di un terremoto generato da una sorgente sismogenetica nel Tirreno meridionale



Nella figura che segue, è riportata la sovrapposizione delle mappe delle fasce di quota e delle fasce di distanza per un tratto di costa tra i Comuni di Centola e Camerota realizzata in occasione della esercitazione nazionale per rischio tsunami denominata TWIST (TidalWave in SouthTiernian Sea) in cui è stato previsto l'innesco del maremoto sia legato ad una frana lungo un versante del vulcano sommerso di Palinuro con effetti lungo le coste di Salerno.

Figura 15 - Risultato della sovrapposizione delle fasce di quota e delle fasce di distanza per la fascia costiera tra i Comuni di Centola e Camerota



### ***RIR e rischio ambientale sui corpi d'acqua superficiali***

L'analisi territoriale riportata nei "Criteri ed indirizzi tecnico-operativi per la valutazione delle analisi degli incidenti rilevanti con conseguenze per l'ambiente" (ISPRA, 2003) effettuata con la finalità di identificare gli stabilimenti ubicati entro una distanza di 100 metri dalla linea di costa e da almeno una asta fluviale (indipendentemente dall'ordine di classificazione dell'asta stessa) ha permesso di rilevare come la distribuzione sul territorio nazionale dei prodotti petroliferi (~ 17500 kt) sia ripartita per circa il 58% (~ 10.000 kt) entro 100 metri dal reticolo fluviale e per circa il 47% (~ 8000 kt) in prossimità della costa. Per quanto attiene la distribuzione nazionale delle sostanze tossiche per l'ambiente, le percentuali rispetto ai quantitativi totali nazionali (905Kt) si attestano intorno al 30 % equamente ripartito nelle vicinanze (100m) del reticolo idrografico e della linea di costa. Un ulteriore dato significativo per la valutazione delle potenziali conseguenze connesse ai rilasci incidentali in particolari contesti territoriali sensibili dal punto di vista ambientale, si evince dai quantitativi di sostanze stoccati presso gli stabilimenti "sopra soglia" *ubicati contemporaneamente entro 100 metri dalla linea di costa e da una asta fluviale*. Per questi impianti, un potenziale rilascio diretto in fiume o canale potrebbe indurre conseguenze pressoché immediate sul comparto marino oppure su habitat cosiddetti di "transizione" (delta/estuario). E' possibile stimare un carico potenziale di sostanze pericolose sul reticolo idrografico medio su scala nazionale pari a 65t/km per i prodotti petroliferi e a 1,8 t/km per le sostanze pericolose per l'ambiente. Per quanto riguarda l'impatto sul comparto marino costiero, è stato stimato un carico

potenziale medio di sostanze pericolose pari a circa 1115 t/km per i prodotti petroliferi e a 40 t/km per le sostanze eco-tossiche. La conclusione è che la maggior parte delle aziende a rischio di incidente rilevante che trattano o stoccano prodotti petroliferi e sostanze ecotossiche (sopra soglia) in prossimità di un corpo idrico superficiale, operano nelle vicinanze di corsi d'acqua di rilevante interesse da un punto di vista delle dimensioni, della capacità di veicolare sostanze o della diretta connessione con il comparto marino costiero. Nel documento "Criteri ed indirizzi tecnico-operativi per la valutazione delle analisi degli incidenti rilevanti con conseguenze per l'ambiente" è stata inoltre effettuata una mappatura preliminare delle situazioni rilevanti ai fini di una classifica del potenziale pericolo associato ai *rilasci accidentali nel comparto fluviale* da stabilimenti Seveso di sostanze ecotossiche, di seguito riportato parzialmente.

NOME/CODICE ASTA	Quantitativi sostanze (t) (All. 1 Parte 1 e 2)	ORDINE	BACINO PRINCIPALE	N.STABILIMENTI	NOTE DESCRITTIVE SULL'AMBITO TERRITORIALE
55511	1.210.768	1	N.D.	1	Fosso in area Sarroch (Saras)
55566	1.210.768	1	N.D.	1	Fosso in area Sarroch (Saras)
MARCELLINO	993.618	1	MARCELLINO	2	Area Augusta
56043	847.535	1	N.D.	1	Fosso in area Priolo Gargallo (Isab)
CORRIOLO	787.393	1	CORRIOLO	1	Area Milazzo
CANTERA	786.840	1	CANTERA	1	Area Augusta
47729	786.840	2	CANTERA	1	Fosso tributario Cantera Area Augusta
40040	741.038	2	N.D.	2	Sotterraneo non definito Area Napoli (Depositi Kuwait ed Esso Italiana)
56033	716.864	1	N.D.	1	Fosso in area Priolo Gargallo (Isab)
56027	716.864	1	N.D.	1	Fosso in area Priolo Gargallo (Isab)
40041	649.962	2	N.D.	1	Sotterraneo non definito Area Napoli (Deposito Kuwait)
UGIONE	480.000	1	UGIONE	1	Area Collesalveti
GALERIA	429.908	2	TEVERE	2	Area Roma
SCRIVIA	331.506	2	PO	3	Area Busalla e Arquata Scrivia
OLONA	322.505	2	PO	3	Area Rho/Castelseprio
55420	313.518	1	N.D.	1	Fosso in area Porto Torres (Polimeri Europa)
55418	313.515	2	N.D.	1	Fosso in area Porto Torres (Polimeri Europa)
ESINO	312.053	1	ESINO	1	Area Falconara Marittima
POLCEVERA	273.000	1	POLCEVERA	1	Area Genova
48657	189.285	2	GRANDE	1	Fosso Tributario del GRANDE (polimeri europa Brindisi)
LAMONE	147.730	1	LAMONE	1	Area Ravenna
LA CANAIA	147.730	2	LAMONE	1	Area Ravenna
575	146.470	2	POLCEVERA	1	Fosso tributario Polcevera in area Genova IPLOM I
505	132.784	2	N.D.	1	Fosso in area Vado Ligure (Petrolig)
55512	86.450	1	N.D.	1	Fosso in area Sarroch (Polimeri europa)
55599	86.450	1	N.D.	1	Fosso in area Sarroch (Polimeri europa)
FOGLIA	35.763	1	FOGLIA	1	Area Pesaro
MALONE	25.860	2	PO	1	Area Chivasso
TEVERE	22.950	1	TEVERE	1	Area Fiumicino
NESTORE	20.000	2	TEVERE	1	Area Piegaro

In genere a parità di termine sorgente, l'impatto sull'ambiente di ogni incidente dipenda da un considerevole numero di variabili, quali:

- sostanze coinvolte
- preesistenza di inquinanti nell'ambiente
- matrici ambientali inquinate a seguito dell'incidente

- topografia del sito
- meteorologia del sito

## Modalità di analisi e valutazione dei rischi naturali su impianti RIR

### **Analisi e valutazione rischio Natech dovuto a sisma su impianti RIR**

Il rischio associato ad un evento incidentale derivante da "*cause interne lo stabilimento*", è dato dal prodotto della probabilità di occorrenza dell'evento ( $p$ ) per la magnitudo ( $M$ ) relativa alla gravità delle conseguenze attese, cioè da  $R = (p \cdot M)$ . Il rischio associato ad un evento incidentale derivante da "*cause naturali*" (*NaTech*), quali il sisma, deve tenere conto: della probabilità associata al verificarsi dell'evento naturale di determinata intensità ( $p$ ); della propensione delle apparecchiature/tubazioni a subire danneggiamenti (Vulnerabilità  $V$ ); dell'estensione dei danni, con particolare riferimento al numero di persone, beni, infrastrutture, servizi potenzialmente coinvolti dagli effetti degli eventi incidentali (Esposizione  $E$ ). Cioè:  $Rischio\ Na-Tech = f(p \cdot E \cdot V)$ .

Negli ultimi anni sono state elaborate diverse metodologie per la valutazione quantitativa del rischio *Na-Tech* relativo ai terremoti. Tali metodologie comportano: la stima della Probabilità di Eccedenza (EP), ovvero la probabilità che un dato valore di PGA (*Peak Ground Acceleration*, cioè accelerazione massima del terreno) superi uno specifico valore  $a$  della medesima variabile in uno specifico intervallo di tempo  $T$  (normalmente 50 anni); per ogni apparecchiatura critica, la stima della probabilità associata ad una determinata tipologia di danno (lieve, moderato, grave, catastrofico), per ciascun valore della PGA di riferimento (nota bene: non esistono curve di fragilità per tutte le tipologie di apparecchiature); per ciascuna apparecchiatura critica e per ogni valore di PGA, la stima delle conseguenze associate a ciascuna tipologia di danno; l'identificazione di tutte le combinazioni credibili di eventi (contemporaneità di eventi, compresi "effetti domino"), e la stima delle relative frequenze di accadimento; la stima delle conseguenze di tutte le combinazioni credibili di eventi e valutazione della vulnerabilità; la stima del rischio.

L'approccio metodologico descritto è rigoroso e completo, ma presenta alcune difficoltà di applicazione, quali: la necessità di informazioni dettagliate non sempre disponibili (per esempio, la disponibilità di curve di fragilità di apparecchiature d'impianto diverse dai serbatoi atmosferici); la necessità di un gruppo di lavoro costituito da tecnici esperti in diverse discipline; l'elaborazione di calcoli complessi che richiedono elevata disponibilità di tempo.

Allo scopo di poter ottimizzare l'analisi, Cruz e Okada hanno sviluppato un "metodo ad indici" per una stima preliminare del rischio sismico e d'inondazione nelle aree urbane, che considera le possibili interazioni tra gli stabilimenti industriali RIR, le infrastrutture presenti, la popolazione esposta, gli elementi ambientali vulnerabili, la pianificazione di emergenza. I metodi d'analisi semplificata consentono di effettuare una selezione preliminare di *item* di impianto e stoccaggio, che, in caso di perdita di contenimento, determinano eventi incidentali di magnitudo significativa. Gli *item* così individuati saranno oggetto di analisi di rischio approfondite (Analisi *Na-Tech*).

Si fa notare che tali analisi potranno essere elaborate solo a seguito dell'effettuazione di quanto previsto all'Art. 2 – comma 3 dell'OPCM 3274/2003: censimento della vulnerabilità sismica; analisi di livello 1-2 (calcoli strutturali).

*Le azioni sismiche su impianti a rischio di incidente rilevante*

Le principali norme generali relative al rischio sismico applicato agli studi di pericolosità ed alle verifiche sismiche sulle costruzioni sono:

- Ordinanza del presidente del consiglio dei ministri 3274 del 20 marzo 2003: viene introdotta la nuova classificazione sismica sul territorio italiano e stabilisce l'obbligo della verifica sismica di alcune tipologie di edifici esistenti
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n.3519 del 28 aprile 2006: aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale
- Decreto del Capo Dipartimento della protezione civile n.3685 del 21 ottobre 2003: individua due tipologie di edifici da sottoporre a verifica sismica
- Norme Tecniche delle Costruzioni: Decreto del ministero Infrastrutture e trasporti del 14 gennaio 2008
- Bozza di Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni: emanate ad agosto 2012

Per quanto riguarda gli strumenti normativi previsti dalle norme e leggi collegate direttamente alla direttiva Seveso, si hanno:

- Il DPCM 31/3/1989 "Applicazione dell'art. 12 del decreto del Presidente della Repubblica 17 maggio 1988, n. 175, concernente rischi rilevanti connessi a determinate attività industriali" (c.d. metodo ad indici) che in Allegato I al paragrafo 1.C.1.3 stabilisce che il gestore deve specificare la cronologia dei terremoti, inondazioni, trombe d'aria, fulmini.
- Il Decreto Ministero Ambiente 15 maggio 1996 "Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di gas e petrolio liquefatto (g.p.l.)"
- Il Decreto Ministero Ambiente 20 ottobre 1998 "Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di liquidi facilmente infiammabili e/o tossici"

I criteri della nuova classificazione sismica sono basati sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità. In base all'ordinanza 3274/2003 le regioni adottano la classificazione sismica (d.lgsvo 112/98 e DPR n.380/2001) compilando l'elenco dei comuni con l'attribuzione delle zone a pericolosità decrescente dalla Zona 1 (la più pericolosa, in cui possono verificarsi forti terremoti) alla Zona 4 (la meno pericolosa con basse possibilità di danni sismici). A ciascuna zona viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione espresso in termini di accelerazione massima su roccia. Con l'ordinanza 3519 del 28 aprile 2006, sono stati introdotti gli intervalli di accelerazione ( $a_g$ ) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni che vanno attribuiti alle quattro zone sismiche.

<b>Zona</b>	<b>Accelerazione massima su roccia</b>	<b>Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (<math>a_g</math>)</b>
Zona 1	0,35g	$a_g > 0,25$
Zona 2	0,25g	$0,15 \leq a_g \leq 0,25$
Zona 3	0,15g	$0,05 \leq a_g \leq 0,15$
Zona 4	0,05g	$a_g \leq 0,05$

Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministero Infrastrutture e Trasporti del 14 gennaio 2008) per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto ed in funzione della vita nominale dell'opera. Si tratta di un valore definita per ogni punto del territorio nazionale su una maglia quadrata di 5 km di lato che non dipende dai confini "amministrativi" comunali. Nelle NTC vengono definiti i concetti di vita nominale<sup>3</sup>, classe d'uso e periodo di riferimento per l'azione sismica

Tipo di costruzione	Vita nominale VN (anni)
Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	≤ 10 anni
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50anni
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100anni

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. <b>Industrie con attività pericolose per l'ambiente.</b> Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. <b>Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente.</b> Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

<sup>3</sup> La vita nominale di un'opera strutturale VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Il coefficiente d'uso varia in funzione della classe d'uso:

classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente CU	0,7	1	1.5	2

Il coefficiente d'uso CU lega il periodo di riferimento per l'azione sismica alla vita nominale ( $VR=VN*CU$ )

In questo contesto le industrie con attività pericolose per l'ambiente sono elencate tra le costruzioni di classe III, mentre le industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente è attribuita la classe IV.

In particolare, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici osserva che la distinzione tra le "industrie a rischio di incidente rilevante" elencate agli articoli 6, 7 e 8 del D.Lgs. 334/999 si basa su un parametro meramente quantitativo, cioè sulla quantità di prodotti pericolosi presenti in un determinato stabilimento in relazione ai limiti tabellari riportati negli Allegati dello stesso D.Lgs. 334/1999. *Tale parametro quantitativo, ai fini dell'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni, non sembra poter rappresentare l'unico elemento discriminante per l'attribuzione della classe d'uso ad un'opera. Infatti l'attribuzione di un'opera ad una specifica classe d'uso è il risultato di un processo di valutazione.*

Nel caso in esame si tratta quindi di valutare tutti gli effetti conseguenti ad un eventuale collasso per sisma di un'opera che ospita attività potenzialmente pericolose per l'ambiente, tenendo anche conto, ai fini della valutazione della sussistenza del carattere di particolare pericolosità, delle possibili conseguenze dell'eventuale collasso dell'opera:

- a) sul sistema di approvvigionamento idrico ed energetico
- b) sulla componente atmosferica che ad essa potrebbe essere connesso, nonché sull'operatività del sistema di protezione civile.

### *Le verifiche di adeguatezza sismica per gli impianti esistenti*

Il riferimento normativo di base è l'OPCM 3274 del 20 marzo 2003, all'art.2 comma 3 e comma 4 per i quali è previsto che:

3. È fatto obbligo di procedere a verifica, da effettuarsi a cura dei rispettivi proprietari, ai sensi delle norme di cui ai suddetti allegati, sia degli edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso. Le verifiche di cui al presente comma dovranno essere effettuate entro cinque anni dalla data della presente ordinanza e riguardare in via prioritaria edifici ed opere ubicate nelle zone sismiche 1 e 2, secondo quanto definito nell'allegato 1.

4. In relazione a quanto previsto al comma 3, entro sei mesi dalla data della presente ordinanza il Dipartimento della protezione civile e le regioni provvedono, rispettivamente per quanto di competenza statale e regionale, ad elaborare, sulla base delle risorse finanziarie disponibili, il programma temporale delle verifiche, ad individuare le tipologie degli edifici e delle opere che presentano le caratteristiche di cui al comma 3 ed a fornire ai soggetti competenti le necessarie indicazioni per le relative verifiche tecniche, che dovranno stabilire il livello di adeguatezza di ciascuno di essi rispetto a quanto previsto dalle norme.

A seguire con Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n.3685 del 21 ottobre 2003 (disposizioni attuative dell'OPCM 3274/2003):

- a) sono stati considerati prioritari gli edifici strategici, gli aggregati strutturali e le unità strutturali interferenti, nonché le opere infrastrutturali individuate dall'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza approvata o, in assenza di tale analisi, edifici prospicienti una via di fuga prevista nel piano di emergenza provinciale o comunale per il rischio sismico o vulcanico, oppure opere appartenenti all'infrastruttura a servizio della via di fuga o ancora l'interferenza con essa.
- b) Sono compresi gli edifici che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso, tra cui si possono annoverare gli impianti a rischio di incidente rilevante

In base alla NTC (capitolo 8.3) la *valutazione della sicurezza* e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguiti con riferimento ai soli SLU; nel caso in cui si effettui la verifica anche nei confronti degli SLE i relativi livelli di prestazione possono essere stabiliti dal Progettista di concerto con il Committente. Le Verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC).

Le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a valutazione della sicurezza quando ricorra anche una delle seguenti situazioni:

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni), situazioni di funzionamento ed uso anomalo, deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione;
- provati gravi errori di progetto o di costruzione; - cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione;
- interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidità.

Qualora le circostanze di cui ai punti precedenti riguardino porzioni limitate della costruzione, la valutazione della sicurezza potrà essere limitata agli elementi interessati e a quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale.

La valutazione della sicurezza deve permettere di stabilire se:

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);

- sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.

In questo contesto le verifiche sismiche possono essere eseguite secondo approcci o metodologie diverse:

*a) Valutazione della Sicurezza Sismica*

In applicazione delle prescrizioni del Cap. 8.3 delle NTC 2008 consiste nel verificare la resistenza e la stabilità delle apparecchiature se sottoposte ad una azione sismica di progetto quale quella prevista dalle norme stesse per il sito di installazione. Questa verifica è importante per individuare eventuali interventi di miglioramento sismico opportuni o necessari per la messa in sicurezza dell'apparecchiatura. Il progetto (o l'eseguito) dell'intervento di miglioramento sismico deve essere a sua volta sottoposto a verifica. Secondo questo approccio i calcoli vengono eseguiti come in sede di progettazione adottando per le variabili aleatorie (azione sismica, resistenza dei materiali, riempimento delle apparecchiature, etc) i loro valori caratteristici (frattili di ordine 0.05 per le resistenze dei materiali, di ordine 0.95 per le azioni sfavorevoli).

*b) Valutazione della Vulnerabilità Sismica*

La Vulnerabilità Sismica è definita come rapporto tra la intensità sismica di progetto prescritta dalla normativa (domanda) e la intensità sismica che produce il collasso della apparecchiatura (capacità); se la vulnerabilità è maggiore di 1 l'apparecchiatura non è sicura per le condizioni di progetto previste. La verifica viene eseguita con una serie di analisi incrementali statiche (ISA) o dinamiche (IDA) scalando la intensità sismica di progetto fino a determinare la intensità sismica che produce il collasso dell'apparecchiatura. Questa analisi fornisce una indicazione quantitativa del Livello di Sicurezza (inverso della vulnerabilità) disponibile che può essere sufficiente per apparecchiature in Seveso di soglia inferiore. Adottando per le variabili aleatorie invece dei loro valori caratteristici, come si deve in progettazione, i loro valori medi statistici questa analisi può fornire una valutazione conservativa del Rischio Sismico (frequenza media annua uguale all'inverso del tempo di ritorno dell'intensità sismica che produce il collasso).

*c) Valutazione affidabilistica della sicurezza sismica*

Secondo questo approccio la valutazione della sicurezza sismica di una costruzione consiste nella quantificazione della frequenza media annua di superamento di uno stato limite di riferimento che nel caso di apparecchiature contenenti sostanze pericolose in impianti RIR è lo stato limite di collasso SLC con riferimento sia alla perdita di tenuta sia al collasso totale. La differenza rispetto ai due approcci precedenti consiste nel fatto che le variabili aleatorie vengono prese in considerazione come valore medio statistico e deviazione standard. La suscettibilità al collasso in funzione dei diversi valori che possono essere assunti dalle variabili aleatorie viene descritta da una "curva di fragilità" che viene combinata con la "curva di pericolosità" sismica del sito di installazione con il teorema delle probabilità totali. Ne risulta la frequenza media annua di superamento dello stato limite di non collasso. La metodologia di calcolo è molto complessa e computazionalmente laboriosa poiché per determinare la curva di fragilità è necessario eseguire un numero di analisi incrementali (ISA o IDA) pari a 2 elevato al numero di variabili aleatorie prese in considerazione. Questo approccio fornisce una valutazione quantitativa del Rischio Sismico a monte della valutazione degli effetti "domino" che il collasso può attivare nel contesto dell'impianto.

Le linee d'indirizzo seguite dai gestori degli stabilimenti hanno riguardato i seguenti punti:

- Impiego di metodi indicizzati (caratteristiche e quantitativo di prodotto pericoloso in apparecchiature, stoccaggi, ecc...);
- Verifiche solo sugli item sede di top-event;
- Analisi modale, condotta allo Stato Limite di Collasso (SLC), per le apparecchiature di processo o applicazione di metodi speditivi (Standard API 650 per gli stoccaggi);

#### *Verifiche sismiche e criticità riscontrate*

Nelle verifiche le Aziende non sempre hanno utilizzato parametri conservativi (Zona sismica, Probabilità attesa, Fattore d'Importanza, Valore Vita Nominale, Classe d'uso e Stati Limite).

Pur tuttavia, alcuni centri di pericolo non hanno superato le verifiche. Gli item risultati critici corrispondono a quelli evidenziati dall'analisi storica come più vulnerabili al sisma:

- Apparecchiature: colonne, reattori, scambiatori, serbatoi, forni.
- Stoccaggi: serbatoi atmosferici a tetto fisso e galleggiante e sfere.
- Opere edili: sala controllo, strutture portanti, camini, pipe-racks.

Le Società, sebbene non richiesto dall'O.P.C.M., hanno individuato le misure di adeguamento sismico che concernono :

- Apparecchiature: ampliamento delle fondazioni, controventature delle apparecchiature, rinforzo delle lamiere delle gonne,
- Stoccaggi: ampliamento fondazioni e rinforzo lamiere nei serbatoi atmosferici e rinforzo colonne di sostegno e inserimento controventature per le sfere;
- Opere edili: ampliamento fondazioni, ringrosso pilastri, controventature.

L'obbligo imposto dall'Art. n 2 dell'O.P.C.M. di sottoporre a verifica gli edifici e le opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso, impone la considerazione di non escludere dalla verifica importanti elementi presenti negli impianti industriali, quali ad esempio le strutture multipiano intelaiate a sostegno delle apparecchiature, i pipe-racks, i fabbricati di servizio, ecc... che non sono stati oggetto di verifica.

Con riferimento alle analisi contenute nei Rapporti di Sicurezza, quali:

- risultati Metodi ad indici
- items contenenti sostanze pericolose per l'ambiente in bacini non *pavimentati*
- scenari con effetti domino e/o esterni allo Stabilimento

L'analisi del rischio Natech può essere inserita a seguito delle verifiche di secondo livello



Questo approccio pur completo presenta difficoltà di applicazione, quali:

- la necessità di informazioni dettagliate non sempre disponibili (per esempio disponibilità di curve di fragilità di apparecchiature di impianto diverse dai serbatoi atmosferici);
- la necessità di un gruppo di lavoro costituito da tecnici esperti in diverse discipline;
- l'elaborazione di calcoli complessi che richiedono elevata disponibilità di tempo.

#### *Rischio NaTech associato al sisma*

Il rischio in termini analitici è quantificabile attraverso la cosiddetta "Equazione del rischio" che lega pericolosità, vulnerabilità ed esposizione.

La Pericolosità (P) esprime la probabilità che si verifichi un evento sismico di una determinata magnitudo in una certa zona entro un determinato periodo di tempo.

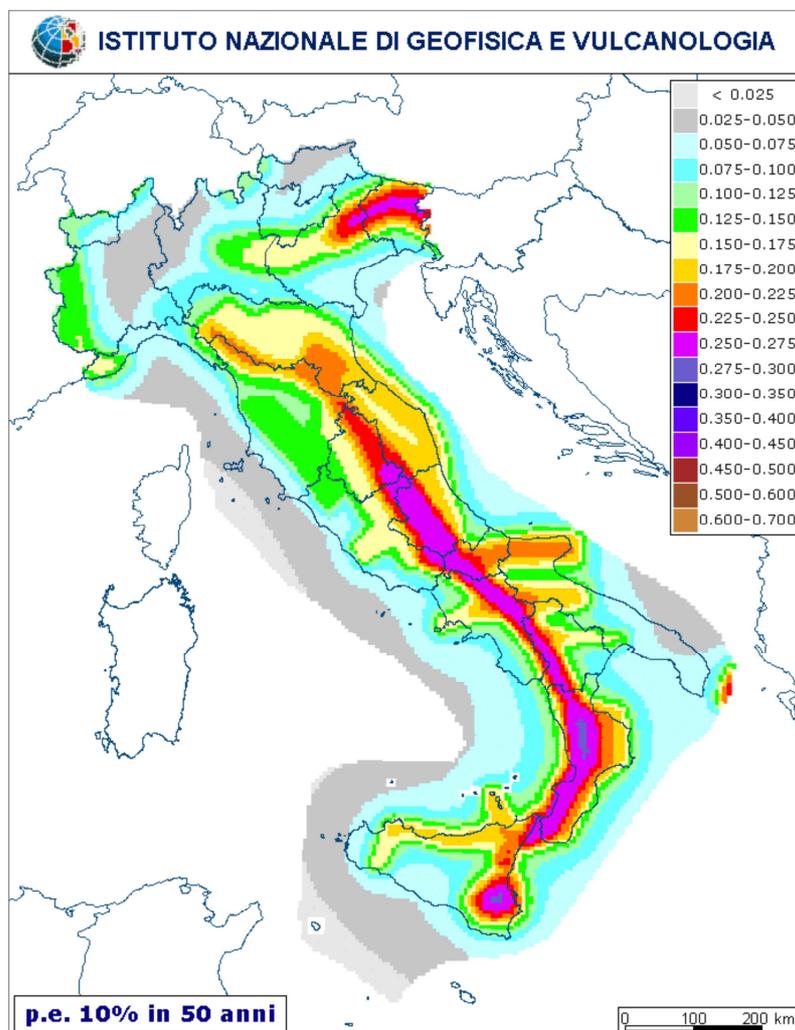
La Vulnerabilità (V) è la propensione di un determinato elemento (edifici, infrastrutture ecc.) a subire danni a seguito di un evento sismico di determinata intensità.

L'Esposizione (E) o valore esposto esprime l'estensione, la numerosità e la qualità dei sistemi che possono subire danni a seguito di un evento sismico di fissata intensità. Rappresenta quindi il valore degli elementi che devono sopportare l'evento (es. il numero di presenze umane, il valore delle risorse naturali ed economiche). Tale valore può essere espresso in termini monetari, o in numero e quantità delle entità esposte.

Attualmente la pericolosità sismica di riferimento sul territorio nazionale si basa sull'approccio probabilistico che ha condotto alla messa a punto delle mappe di pericolosità, ciascuna relativa ad un valore della probabilità di accadimento in 50 anni, che a sua volta corrisponde a un valore del

tempo di ritorno. Per le costruzioni ordinarie si fa riferimento ad un evento sismico con probabilità del 10% di essere superato in 50 anni, ossia con tempo di ritorno di 475 anni (figura seguente...). Si tratta di una scelta ingegneristica che implica l'accettazione di un certo livello di rischio.

Figura 16 – Mappa dell'accelerazione sismica con probabilità del 10% di essere superata in 50 anni (INGV)



La mappa che segue è relativa ad una probabilità del 2% in 50 anni, ossia ad un tempo di ritorno di 2475 anni, che rappresenta il massimo attualmente previsto dalle norme tecniche, compatibile con le nostre conoscenze sulla storia sismica. In aree ad elevata densità di popolazione e per le strutture degli impianti RIR, potrebbe essere adottato un grado di sicurezza maggiore, al fine di ridurre il rischio ovvero potrebbe essere opportuno ridurre il livello di rischio accettabile e fare riferimento a probabilità di accadimento inferiori.

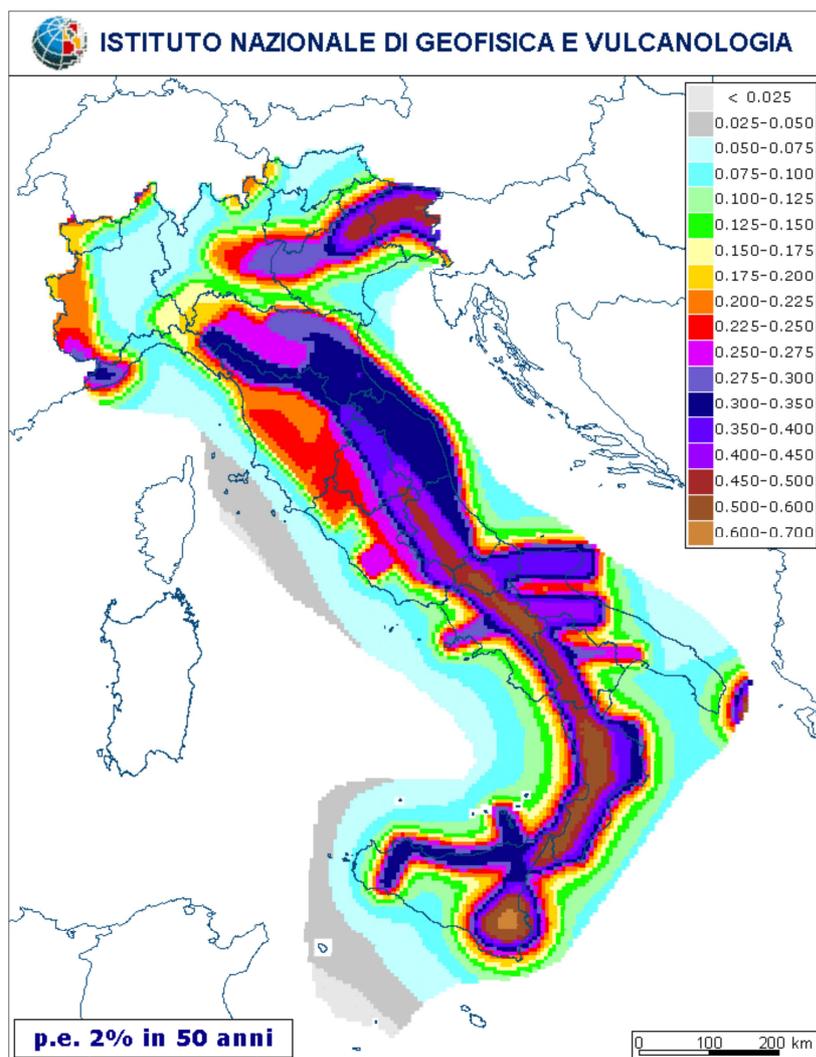


Figura 17 – Mappa dell’accelerazione sismica con probabilità del 2% di essere superata in 50 anni (INGV)

Per la determinazione della Pericolosità (P) di ciascuna struttura si assume a riferimento l’accelerazione massima al suolo “ag” indicata nell’Allegato 7 all’OPCM n. 3907/10 approssimata alla quarta cifra decimale. In detto allegato sono indicati i valori di “ag” riferiti ad ogni comune con  $ag > 0,125$ .

La pericolosità (alta, media o bassa) è assegnata a ciascuna struttura, tramite il relativo codice, verificando in quale classe, tra quelle riportate nella tabella seguente, ricade il valore di “ag” del comune nel quale la struttura stessa è ubicata.

Classi di ag	Pericolosità	Codice
$Ag \leq 0,15$	Bassa	1
$0,15 \leq ag \leq 0,25$	Media	2
$ag \geq 0,25$	Alta	3

--	--	--

Altra metodologia utile per calcolare la pericolosità locale può essere quella di analizzare i dati storici, ricavati da archivi ed osservatori, di eventi sismici accaduti in un arco di tempo specifico, in una zona di nostro interesse ed utilizzare tali dati per ottenere le frequenze di accadimento di sismi di magnitudo o di intensità superiore ad una certa soglia in quella determinata zona.

Ovviamente per i terremoti più antichi, data l'assenza all'epoca della strumentazione scientifica necessaria per determinare la Magnitudo, si utilizzeranno sempre i dati sull'intensità MCS ottenuti sulla base delle descrizioni dei danneggiamenti riportate negli archivi storici.

I dati di pericolosità ottenuti possono essere utilizzati per calcolare il rischio Na-Tech considerando gli scenari di rischio naturale che hanno la probabilità di causare scenari di Rischio di Incidente Rilevante a seguito di un evento di intensità minima prefissata.

*Esempio di schema di calcolo di probabilità di accadimento di un sisma in una zona specifica*

<b>Numero di anni considerati a partire dal primo periodo disponibile in archivio (filtrando i periodi dove c'è una scarsità di dati)</b>	<b>Numero di eventi nell'arco di tempo considerato</b>	<b>Intensità minima presa in considerazione sulla base della capacità di generare effetti</b>	<b>Tempo di ritorno medio specifico di un evento sismico con intensità predeterminata calcolato per la zona specifica</b>
<b>2016 – 1200 = 816</b>	<b>14</b>	<b>MCS ≥ VII</b>	<b><math>1,7 \times 10^{-2}</math></b>

La Vulnerabilità (V) può essere individuata mettendo in relazione la vetustà della struttura e disposizioni significative per le costruzioni in zona sismica con informazioni quali ad esempio:

- anno di progettazione;
- nessun intervento eseguito sulla struttura dopo la costruzione;
- anno di progettazione ultimo intervento eseguito sulla struttura (solo nel caso in cui sia stato progettato ed eseguito un intervento di adeguamento o di miglioramento).

Il codice associato alla vulnerabilità (alta, media e bassa) è attribuito ad ogni struttura in base all'anno di progettazione della struttura stessa o di eventuali interventi di miglioramento o adeguamento in relazione alla classificazione sismica del comune (approvata in genere con decretazione delle singole Regioni) secondo le indicazioni riportate, ad esempio nella tabella seguente, valida per la classe 1:

Comuni in classe sismica 1
----------------------------

Epoca di progettazione più recente <sup>4</sup>	Vulnerabilità	Codice
successiva al 2003	Bassa	1
tra il 1975 e il 2003	media	2
anteriore al 1975	Alta	3

Per quanto riguarda invece la vulnerabilità degli elementi non strutturali si deve per forza utilizzare la descrizione degli effetti di un sisma attraverso la scala di intensità MCS per provare a stimare la probabilità di accadimento di un determinato evento.

Ad esempio se prendiamo come riferimento lo scenario la caduta e rottura di fusti contenenti materiali pericolosi capaci di scatenare un incidente rilevante, possiamo utilizzare come soglia minima il livello di intensità MCS VII che presenta la seguente descrizione

Sisma di intensità VII grado	VII grado. Molto forte: ragguardevoli lesioni vengono provocate all'arredamento delle abitazioni, anche agli oggetti di considerevole peso che si rovesciano e si frantumano. Rintoccano anche le campane di dimensioni maggiori. Corsi d'acqua, stagni e laghi si agitano di onde e s'intorbidiscono a causa della melma smossa. Qua e là, scivolano via parti delle sponde di sabbia e ghiaia. I pozzi variano il livello dell'acqua in essi contenuta.
------------------------------	---

La descrizione ci indica quindi una probabilità molto alta che un fusto si rovesci e si danneggi rilasciando sostanze pericolose specialmente se posto ad altezze superiori al metro rispetto al pavimento.

Per la determinazione dell'Esposizione (E), si assumono a riferimento le informazioni quali :

- numero di persone mediamente presenti durante la fruizione ordinaria dell'edificio (np);
- ore di fruizione ordinaria nel giorno (of);
- mesi di fruizione ordinaria nell'anno (mf).

Riguardo all'individuazione dell'Esposizione si ritiene appropriato non fare solo riferimento alle persone presenti in una struttura in numero assoluto, ma considerare anche la maggiore o minore probabilità che la struttura sia occupata in caso di evento sismico. Quindi il calcolo da eseguire è il seguente:

$$E_p = (np \times of \times mf) / 1000$$

$E_p$ , approssimato alla seconda cifra decimale, può assumere valori che vanno da 0 a valori superiori a 1.000,00.

Classi di esposizione	Esposizione	Codice
$0 \leq E_p \leq 8,6$	Bassa	1
$8,6 \leq E_p \leq 57,6$	Media	2
$E_p \geq 57,6$	Alta	3

La priorità è determinata moltiplicando i codici di Pericolosità, Vulnerabilità ed Esposizione

<sup>4</sup> si intende l'anno di progettazione dell'ultimo intervento di adeguamento o miglioramento eseguito sulla struttura, nel caso in cui non siano stati effettuati detti interventi si considera l'anno di progettazione della struttura

Il rischio associato ad un evento incidentale derivante da "cause naturali" (Na-Tech), quali il sisma, deve tenere conto:

- della probabilità  $p$  associata al verificarsi dell'evento naturale di determinata intensità
- della propensione delle apparecchiature e delle tubazioni a subire danneggiamenti, ossia della loro vulnerabilità  $V$ ;
- dell'estensione dei danni con particolare riferimento al numero di persone, beni, infrastrutture, servizi potenzialmente coinvolti dagli effetti degli eventi incidentali, ossia dell'esposizione  $E$ :

$$\text{Rischio NaTech} = f(pVE)$$

Le metodologie per la valutazione quantitativa del rischio Na-Tech relativo ai terremoti comportano:

- 1) la stima della probabilità di eccedenza (EP), ovvero la probabilità che un dato valore del picco di accelerazione (PGA) superi un assegnato valore in uno specifico intervallo di tempo (normalmente 50 anni);
- 2) per ogni apparecchiatura critica, la stima della probabilità associata ad una determinata tipologia di danno (lieve, moderato, grave, catastrofico), per ciascun valore della PGA di riferimento (N.B.: non esistono curve di fragilità per tutte le tipologie di apparecchiature);
- 3) per ciascuna apparecchiatura critica e per ogni valore di PGA, la stima delle conseguenze associate a ciascuna tipologia di danno;
- 4) l'identificazione di tutte le combinazioni credibili di eventi (contemporaneità di eventi, compresi effetti domino), e stima delle relative frequenze di accadimento;
- 5) la stima delle conseguenze di tutte le combinazioni credibili di eventi e la valutazione della vulnerabilità;
- 6) la stima del rischio.

#### *Lo scenario NaTech causato da sisma e la norma ATC 13*

Una valutazione dello scenario di evento in caso di forte sisma, può essere effettuata utilizzando la norma ATC 13 "Earthquakedamageevaluation data for California" AppliedTechnologyCouncil. La norma ATC 13 definisce delle matrici di probabilità di danno riferite alla scala Mercalli. Le matrici sono ottenute sia dall'analisi dei danni dovuti a terremoti avvenuti sia in base all'opinione di esperti del settore.

In particolare le matrici sono valutate per:

Costruzioni

Ponti

Tubazioni

Dighe

Tunnel

**Serbatoi di stoccaggio**

Strade

Camini

Gru

Nastri trasportatori

Torri

In particolare la norma ATC 13 permette di valutare la probabilità di perdita di liquido da serbatoio nei due casi:

- Serbatoio poggiato al suolo
- Serbatoio su struttura elevata rispetto al suolo

*Tabella 3 - Matrice con % perdita liquido da serbatoi al suolo (da ATC13)*

Percentuale di liquido perso (%)	Probabilità di perdita rispetto alla scala Mercalli		
	IX	X	XI
0,00	/	/	/
0,50	2,1	/	/
5,00	94,6	25,7	2,5
20,00	3,3	69,3	58,1
45,00	/	5,0	39,1
80,00	/	/	0,3
100,00	/	/	/

*Tabella 4 - Matrice con % perdita liquido da serbatoi poggiati su struttura elevata rispetto al suolo (da ATC13)*

Percentuale di liquido perso (%)	Probabilità di perdita rispetto alla scala Mercalli		
	IX	X	XI

<b>0,00</b>	/	/	/
<b>0,50</b>	<b>0,1</b>	/	/
<b>5,00</b>	<b>52,7</b>	<b>25,7</b>	<b>2,5</b>
<b>20,00</b>	<b>46,9</b>	<b>69,3</b>	<b>58,1</b>
<b>45,00</b>	<b>0,3</b>	<b>5,0</b>	<b>39,1</b>
<b>80,00</b>	/	/	<b>0,3</b>
<b>100,00</b>	/	/	/

Tabella 5 - Dati di input per la simulazione di scenario NaTech - Serbatoi al suolo

<b>Scala sisma</b>	<b>Probabilità del fattore di perdita</b>
IX grado	Probabilità 94,6% di perdere il 5% del liquido
X grado	Probabilità 69,3% di perdere il 20% del liquido
XI grado	Probabilità 58,1% di perdere il 45% del liquido

Tabella 6 - Confronto scala Mercalli – PGA (g)

<b>Mercalli</b>	<b>PGA (g)</b>
I	/
II	
III	
IV	
V	0,01 – 0,025
VI	0,025 – 0,05
VII	0,05 – 0,10
VIII	0,10 – 0,20
IX	0,20 – 0,40
X	0,40 – 0,80
XI	0,80 - 1,60
XII	>1,60

Tabella 7 - Applicabilità rispetto alle zone riferite alla mappa di pericolosità sismica nazionale (Zone riferite all'Ordinanza PCM n.3519 del 28 aprile 2006)

Zone	PGA (g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi
Zona 1	> 0,25
Zona 2	0,15 – 0,25
Zona 3	0,05 – 0,15
Zona 4	≤ 0,05

Gli scenari NaTech così valutati, rispetto agli scenari valutati in condizioni ordinarie, comportano:

- aumento della dimensione delle zone di sicuro impatto, di danno e di attenzione
- aumento della dimensione complessiva dell'area di interesse per l'applicazione del modello di intervento
- aumento degli elementi vulnerabili compresi nelle "aree di danno"
- variazione della compatibilità territoriale tra scenario NaTech e categorie della pianificazione urbanistica esterne all'impianto

### **Analisi e valutazione rischio tsunami su impianti RIR**

#### *Individuazione delle aree a rischio maremoto*

La delimitazione delle aree costiere, potenzialmente inondabili da un maremoto, presuppone conoscenze specifiche e puntuali. In particolare, un criterio rigoroso per l'individuazione della fascia costiera esposta al rischio maremoto richiede il reperimento dei seguenti dati:

- Informazioni su eventi di maremoto che nel passato hanno interessato l'area, desunti dai cataloghi dei maremoti e/o da eventuali evidenze sul terreno (pubblicazioni specifiche);
- Batimetria di dettaglio del tratto di mare prossimo alla costa;
- Carta tecnica (almeno scala 1:5000) della fascia costiera.

Sulla base di questi dati vanno ipotizzati diversi scenari possibili e, attraverso l'uso di modelli di simulazione di tsunami, è possibile delimitare la fascia costiera di possibile ingressione delle onde.

Tuttavia, poiché tali informazioni e strumenti non sono sempre facilmente acquisibili, si può sviluppare un approccio speditivo che si basa su una delimitazione, anche qualitativa della zona costiera a rischio e sull'individuazione delle azioni di base utili, alle varie amministrazioni competenti, per fornire risposte rapide, coordinate e realistiche. Tali specifiche azioni, naturalmente, devono essere sviluppate nel rispetto delle norme e dei principi di carattere generale che definiscono un piano di emergenza come un'attività di sistema, cui devono concorrere tutti i soggetti a vario titolo competenti, istituzionalmente e territorialmente. Infine, come in generale valido per tutte le tipologie di rischio, è senz'altro molto utile condividere metodi e strumenti di risposta elaborati nei singoli piani di emergenza con quelli dei comuni limitrofi, con particolare riferimento a quelli dell'entroterra, che verosimilmente non saranno interessati dal fenomeno e che potranno pertanto fornire un opportuno supporto logistico ed operativo.

#### *Metodo speditivo per la delimitazione delle aree a rischio maremoto*

In assenza di modelli di simulazione dell'ingressione delle onde di maremoto e di studi scientifici di dettaglio, per la delimitazione delle aree a rischio maremoto si suggerisce di effettuare una zonazione della fascia costiera in aree a pericolosità via via decrescente, in funzione dell'incremento di quota e di distanza dalla linea di costa. In particolare, tale zonizzazione dovrà tenere conto di alcune caratteristiche morfologiche predisponenti ad un'amplificazione dell'impatto di un eventuale maremoto (coste basse, morfologie pianeggianti, estuari di fiumi, baie).

La procedura adottata per la zonizzazione della fascia costiera è stata sviluppata nell'ambito di un Sistema Informativo Territoriale (SIT o GIS) per utilizzarne le capacità di calcolo e di analisi. Tuttavia, seppure i GIS sono sempre più diffusi e fruibili, anche gratuitamente nell'ambito di progetti open-source, è possibile applicare la procedura adottata anche utilizzando una classica carta tecnica regionale/comunale in formato cartaceo.

I dati utilizzati per l'applicazione della procedura sono i seguenti:

- Modello digitale del terreno (DTM), in formato *raster*, con passo di almeno 5x5 metri;
- Carta di uso del suolo a scala almeno 1: 25.000 (se disponibile);
- Linea di costa in formato vettoriale;
- Fiumi e baie in formato vettoriale.

I passi da seguire per applicare la procedura sono i seguenti:

1. Dal DTM calcolare la pendenza della fascia costiera per individuare le **coste alte** e le **coste basse**.
2. PER LE COSTE BASSE
  - a. Utilizzando il DTM, individuare tutte le aree con quote inferiori a 2, 5 e 10 metri e classificare le aree costiere così ottenute assegnando pesi via via decrescenti all'aumentare della quota.
  - b. A partire dalla linea di costa, individuare le fasce di distanza dalla costa pari a 25, 50, 100, 250, 500 e 1000 metri. Quest'ultima fascia, quella dei 1000 metri, viene considerata solo per quelle aree (foci fluviali, canali, baie) nelle quali le onde di maremoto si possono incanalare, amplificando così l'impatto dell'onda di maremoto, che potrà avere una maggiore ingressione, raggiungendo, quindi, a parità di quota aree più distanti dalla costa
  - c. Classificare le fasce costiere ottenute assegnando pesi via via decrescenti all'aumentare della distanza dalla costa.
  - d. Per tenere conto dell'attrito a cui l'onda di maremoto è soggetta quando si propaga sulla terraferma, a partire dalla Carta di uso del suolo (almeno 1:25.000), se disponibile, è possibile definire un coefficiente di scabrezza che tiene conto della "rugosità" del terreno. Quanto più "rugoso" è il terreno sul quale si propaga l'onda, tanto maggiore sarà l'attrito che ne rallenta la propagazione. Il coefficiente di scabrezza può assumere valori tra 0 e 1. I valori bassi, vicini al valore 0 si avranno per i terreni più "rugosi", mentre i valori vicini a 1 si avranno per i terreni meno "rugosi", attraversando i quali l'onda di maremoto subirà meno attrito. In letteratura è possibile trovare tabelle che associano le classi di uso del suolo ai corrispondenti valori di scabrezza. Un esempio è quello di Tabella 3.1 che riporta i valori dei coefficienti di scabrezza adottati per le principali classi di uso del suolo.
  - e. Combinare le mappe elaborate nei punti precedenti, e i relativi pesi, per ottenere la zonizzazione della fascia costiera in aree a diversa pericolosità.

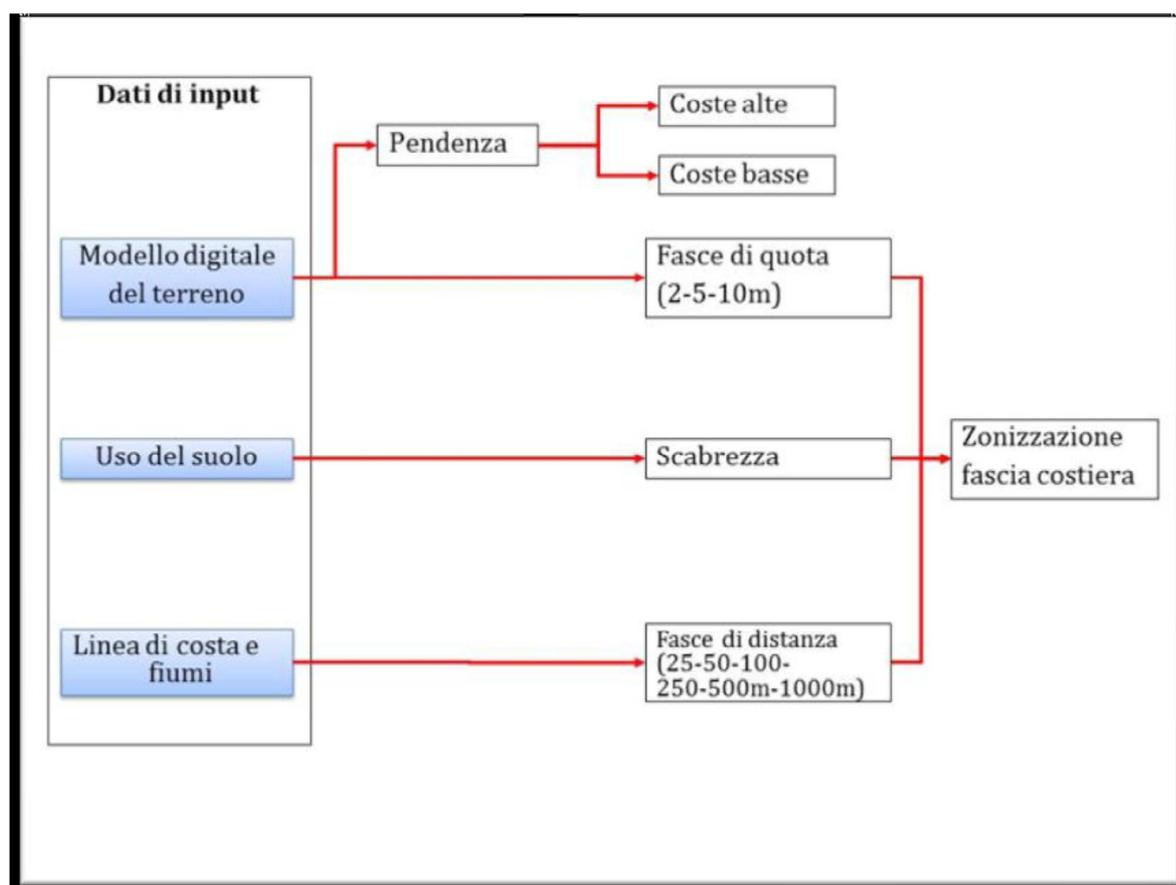
CLASSE USO DEL SUOLO	Valore di scabrezza
Vegetazione alta	0,2
Vegetazione media	0,5
Vegetazione bassa	1
Aree insediate	0,8
Aree verdi urbane	0,9
Aree industriali e/o	0,8

commerciali	
Coste rocciose	1
Rocce	1
Spiagge	1
Discarica	0,9
Strade e ferrovie	0,9
Acque	1

Valori del coefficiente di scabrezza per le principali classi di uso del suolo (da Federici et al., 2006.)

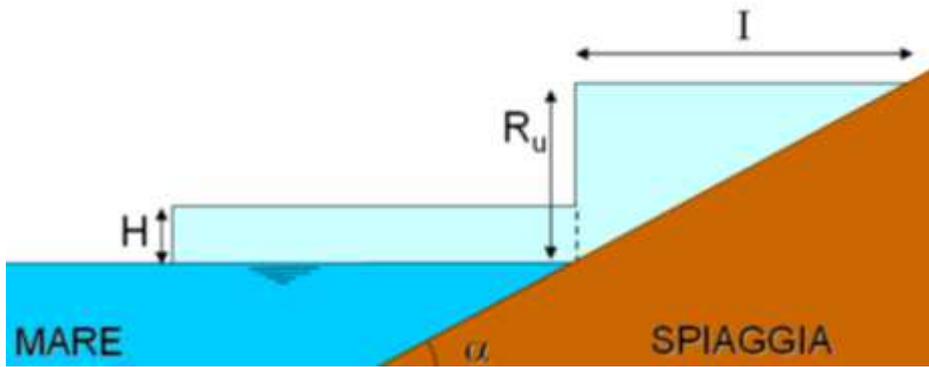
Di seguito è riportato uno schema della procedura appena descritta

Figura 17 – Schema metodo speditivo per la determinazione delle aree a rischio maremoto



Per il calcolo dell'inondazione si ipotizzato che l'onda, una volta raggiunta la sua altezza massima all'arrivo alla costa (*run-up*), allaghi tutta la fascia costiera che si trova a quote inferiori al valore di *run-up*

Figura 18 - Schema del processo di inondazione (figura tratta, con modifiche, dalla pubblicazione Federici et al., 2006).



In cui:

$H$  = altezza di maremoto al largo

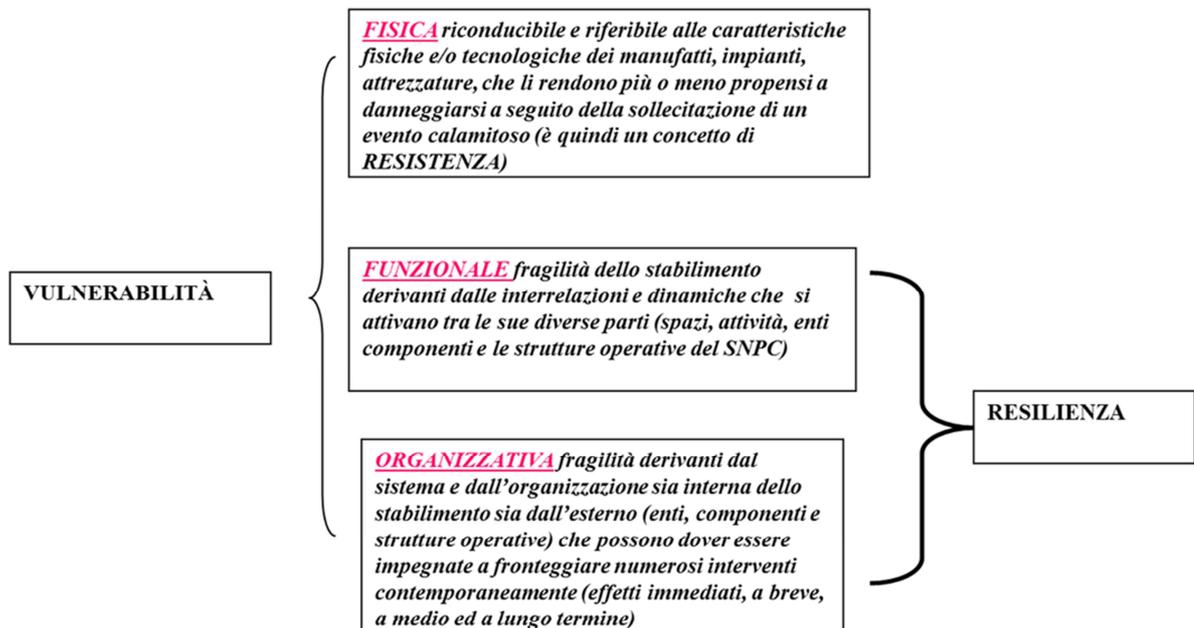
$R_u$  (Run up) = altezza dell'onda di maremoto alla linea di costa

$I$  = zona inondata a seguito della penetrazione dell'onda

## Modalità di prevenzione e protezione da eventi NaTech

Per un approccio sistemico all'evento NaTech su un impianto RIR, è possibile riferirsi allo schema di seguito elaborato, che descrive il rapporto tra vulnerabilità e *resilienza del sistema di risposta* rispetto al rischio NaTech su impianto RIR

Figura 19 – Confronto tra vulnerabilità e resilienza



Possibili linee di indirizzo per la prevenzione e protezione di impianti RIR passano attraverso:

- La riduzione dell'entità delle forze che il sistema trasmette alle strutture (tecnologie di controllo delle vibrazioni: sistemi passivi, attivi, semi-attivi, ibridi)
- La verifica e riduzione degli effetti più rilevanti del sisma sugli impianti (da analisi storica: es. mancanza di energia elettrica, riduzione pressione risorsa idrica, sloshing, ecc)
- L'early warning visto come insieme di tutte le azioni che possono essere attuate tra il momento in cui si ha la ragionevole certezza del verificarsi di un evento catastrofico in una data località e il momento in cui l'evento avviene. (intervallo di tempo può variare da alcuni secondi, nel caso dei terremoti, a 48 -24 ore per gli eventi meteorologici)

### ***Elementi di vulnerabilità degli impianti industriali sottoposti a sisma e principali effetti sugli impianti***

Relativamente alla vulnerabilità di tipo "fisico" è possibile fare riferimento alle strutture ed agli elementi di impianto dello stabilimento, il cui danneggiamento in caso di evento, potrebbe comportare un pericolo immediato:

- le strutture imponenti, quali per esempio le ciminiere, il cui collasso potrebbe determinare il cedimento di apparecchiature circostanti definite critiche (cfr. Tupras Refinery);
- serbatoi (ad es installati in bacini di contenimento non pavimentati e/o impermeabilizzati e contenenti sostanze classificate pericolose per l'ambiente in quantità tali da compromettere potenzialmente l'integrità delle acque superficiali e del terreno)
- pontili
- pipeway.
- strutture ed edifici la cui funzionalità durante un evento sismico assume rilievo fondamentale ai fini degli interventi di emergenza (impianto antincendio, le sale controllo, gli edifici sede di unità di gestione dell'emergenza);
- servizi ausiliari strategici per il contenimento delle conseguenze (per esempio, riserva idrica, stazione di pompaggio e relative tubazioni).

Tra le cause che possono provocare incidenti gravi negli impianti industriali, l'azione sismica dovrebbe essere presa in considerazione come una tra quelle potenzialmente più importanti. Infatti, a differenza dell'incidente casuale, che si può ritenere dovuto ad eventi indipendenti o ad errore umano e pertanto ha una trascurabile probabilità che si verifichi simultaneamente in più apparati (e da cui ci si può spesso cautelare mediante ridondanza degli apparati), nel caso sismico, o di un'inondazione, o altro evento Na-Tech, è notevolmente maggiore la probabilità che i danni si verifichino simultaneamente in più punti dell'impianto, in modo che gli effetti possono risultare amplificati, per esempio a causa del mancato funzionamento dei sistemi di sicurezza a causa della carenza di energia elettrica o di disponibilità idrica.

L'insegnamento appreso dai terremoti passati è che le strutture presenti negli impianti petrolchimici non sono particolarmente vulnerabili al sisma, trattandosi per lo più di strutture in acciaio dalle proprietà elastiche che sostengono masse spesso non molto grandi. I danni osservati sono in genere conseguenti di una progettazione che non aveva tenuto conto, o almeno non in modo sufficiente, delle caratteristiche dell'azione sismica, dovuta a fenomeni di amplificazione delle onde o di liquefazione dei terreni; ad

esempio alcuni danni nei sistemi di tubazioni erano dovuti al non aver messo in conto il moto relativo delle parti collegate; alcuni gusci sottili furono danneggiati dai collegamenti dovuti a scale e passerelle e di cui non si era tenuto conto. Un'altra importante causa di insuccessi sono state le fondazioni; i cedimenti differenziali, le frane e, in qualche caso, la liquefazione, hanno spesso prodotto danni consistenti agli impianti. I contenitori snelli hanno avuto problemi nelle zone di transizione, come il collegamento tra le pareti e le "gonne", o i collegamenti alle fondazioni, dove sono stati osservati sfilamento o snervamento degli ancoraggi. I contenitori orizzontali sono spesso caduti dai loro sostegni.



*Figura 20: Terremoto di Izmit (Turchia), 1999, Mw=7.4: incendio e conseguente collasso di un serbatoio di stoccaggio nella raffineria di Yarimca; l'incendio ebbe gravissime conseguenze in termini di inquinamento atmosferico e problemi di approvvigionamento*





Figura 21:Terremoto di Landers (CA), 28/06/1992, Mw=7.3: danni alle tubazioni rigide

Nell'ultimo ventennio diverse catastrofi naturali, i terremoti di Kobe (Giappone, 1995), Izmit (regione di Kocaeli, Turchia, 1999), Gujarat (India, 2001), Tokachi-Oki (Giappone, 2003) il tornado Katrina nella costa orientale degli Stati Uniti (2005), hanno evidenziato che i disastri di origine naturale sono in grado di provocare dei danneggiamenti di notevole importanza agli impianti industriali causando nella maggior parte dei casi il rilascio di sostanze pericolose e situazioni di emergenza molto difficili da gestire. L'importanza di approfondire tutti gli aspetti di protezione rispetto a questi eventi è poi fondamentale per due ordini di motivi: da un lato la necessità di adeguare le procedure di analisi di rischio anche a eventi iniziatori di tipo naturale; dall'altro lato, la necessità di riformulare le norme di progettazione correnti, in quanto esse non tengono propriamente conto dei possibili effetti delle sollecitazioni di origine naturale sugli impianti industriali.

L'analisi storica condotta su banche dati certificate (MARS, MHIDAS, EPA) mostrano che l'entità degli effetti di eventi incidentali che si originano da eventi naturali, come i terremoti, anche se con frequenze d'accadimento modeste, è elevata. Sia a livello scientifico sia a livello di autorità competenti si è diffusa la convinzione che è necessario migliorare la conoscenza dell'iterazione tra fenomeni naturali e impianti industriali per migliorare la gestione dell'emergenza in caso di crisi.

Per tali motivi in Italia sono state condotte recentemente diverse ricerche che avevano come tema l'analisi della risposta sismica di componenti dell'industria di processo e lo studio dell'applicabilità dei sistemi innovativi per la loro protezione sismica.

Tra le cause che possono provocare incidenti gravi negli impianti industriali, l'azione sismica dovrebbe essere presa in considerazione come una tra quelle potenzialmente più importanti. Infatti, a differenza degli incidenti che si originano da cause "interne", che si manifestano in un punto dell'impianto, nel caso di evento sismico, la causa comune rende altamente probabile il danneggiamento simultaneo di più apparecchiature dell'impianto, mentre gli effetti possono

risultare amplificati a causa del mancato funzionamento dei sistemi di sicurezza o per la generazione simultanea di molteplici catene incidentali.

In un impianto, un terremoto può produrre la perdita di vite umane in conseguenza di collassi di apparecchiature o componenti, analogamente a quanto avviene, per esempio, negli edifici; oltre a questo, si devono mettere in conto le perdite economiche dovute all'interruzione del ciclo produttivo e le conseguenze indirette sull'ambiente, e quindi sulle persone, causate da esplosioni, incendi, rilascio di sostanze tossiche, che si possono produrre come conseguenze dei danni generati dal sisma.

Le normative sismiche vigenti, studiate per le costruzioni civili, si pongono come obiettivo, in caso di sisma violento, di proteggere la vita umana evitando il crollo della costruzione, ma non di impedire che questa si danneggi. Fanno eccezione le norme relative alle strutture isolate, per le quali è previsto che, anche in caso di eventi intensi, il danneggiamento sia limitato o del tutto assente.

I requisiti di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi, degli stati limite di esercizio e di robustezza nei confronti di azioni eccezionali [DM 14.01.08] legati alle costruzioni civili risultano quindi generalmente inadeguati per le strutture degli impianti industriali, per i quali il danneggiamento può comportare conseguenze anche gravi, per esempio il rilascio di sostanze pericolose.

Con riferimento agli impianti industriali a rischio rilevante soggetti al D.Lgs 105/15 (Seveso III), nel territorio nazionale, una grande parte è localizzata in aree ad elevato rischio sismico. L'importanza di prevedere tecniche di riduzione del rischio sismico da impiegare sia negli impianti esistenti che in quelli nuovi, appare dunque evidente.

### *Configurazioni tipiche degli impianti industriali e analisi del loro comportamento sismico*

L'esperienza acquisita dall'osservazione dei danni causati agli impianti industriali dai terremoti del passato, è di grande utilità per identificare quali siano i componenti più esposti al rischio e le conseguenze che il loro danneggiamento può generare. Poiché gli impianti petrolchimici, spesso di proprietà di grandi società multinazionali, sono progettati secondo standard internazionali, i risultati delle osservazioni condotte in paesi diversi sono di solito confrontabili, assai più di quanto non sia lecito fare nelle costruzioni civili. Sono disponibili dettagliate informazioni sul comportamento delle raffinerie durante un certo numero di terremoti, in particolare quelli elencati nella Tabella

*Tabella 7 - Terremoti che hanno investito impianti raffinerie e impianti petrolchimici*

Terremoto	Data	Magnitudo
Anchorage (Alaska)	27.3.1964	8.6
Nigata (Giappone)	16.6.1964	7.6
Valparaiso (Cile)	3.3.1985	7.8
Loma Prieta (USA)	17.10.1989	6.9
Costa Rica	22.4.1991	7.6
Kocaeli (Turchia)	17.8.1999	7.6
Bhuj (Gujarat, India)	26.1.2001	7.7
Tokachi-Oki (Giappone)	26.9.2003	8.3

Nel seguito i principali componenti di una raffineria, e più in generale degli impianti di processo, vengono raggruppati in un ristretto numero di classi, sulla base di una relativa similitudine delle caratteristiche geometriche e meccaniche.

#### Recipienti snelli

Alla categoria dei recipienti snelli appartengono quelle apparecchiature di forma cilindrica, con un rapporto altezza/diametro piuttosto grande (tra 5 e 30, ed anche più). Tra questi, in base alla loro funzione nel processo ed ai vincoli che le sostengono è possibile identificare:

- Recipienti cilindrici verticali che sono ancorati direttamente alla fondazione e liberi lungo l'altezza. Questa categoria comprende le colonne e molti reattori. Per questo tipo di oggetti la massa è costituita, oltre che dall'involucro e dai fluidi contenuti, anche da accessori esterni e dalle connessioni. La distribuzione della massa è di solito piuttosto uniforme e può essere considerata in prima approssimazione continua anche se possono esserci delle discontinuità interne, soprattutto in relazione ai tragitti percorsi dai fluidi trattati.

- Cilindri verticali vincolati, oltre che alla base, anche lungo l'altezza mediante tralicci o stralli. Questo gruppo comprende strutture molto snelle, come ad esempio i camini e le torce. La loro massa è dovuta interamente alla struttura, poiché contengono gas a pressione atmosferica.
- Recipienti cilindrici orizzontali, sostenuti da due o più selle poggiate sulle fondazioni. In questa categoria sono compresi molti serbatoi pressurizzati e scambiatori di calore.

#### Descrizione dei danni

A seguito del terremoto di Nigata, sono stati osservati dei cedimenti differenziali alla base delle apparecchiature di medio peso. Un apparato sostenuto da plinti, posti direttamente su di un terreno migliorato con vibrazione, ha subito cedimenti minori di quelli subiti da apparecchiature più pesanti che si trovavano nelle vicinanze, fondate su pali lunghi 7 m infissi nel terreno migliorato. Nelle zone vicine, dove il terreno non aveva subito miglioramenti, sono state osservate inclinazioni delle strutture alte, quali le ciminiere.

A seguito del terremoto di Valparaiso, un camino di ventilazione di 18''(450 mm) di diametro si è fessurato alla base. Lo stesso evento ha comportato l'allungamento, fino allo snervamento, delle barre di ancoraggio di alcune colonne.

L'effetto più significativo sui recipienti verticali del terremoto di Loma Prieta riguarda gli ancoraggi. In una raffineria dove erano presenti circa 50 recipienti verticali, in più di 20 sono stati registrati danni agli ancoraggi.

Durante il terremoto del Costa Rica, un bruciatore a gas non ancorato, ha subito un piccolo scorrimento che ha provocato la rottura delle tubazioni del gas, senza però che si producesse un incendio.



Figura 22: forno danneggiato, terremoto Izmit, Turchia.

Il terremoto Izmit in Turchia ha invece provocato serissimi danni a una raffineria di oli minerali (area impianto, area stoccaggi, pontile). La sommità del camino è collassata su un forno, mentre la parte inferiore era caduta tra le tubazioni. Il forno, che era stato progettato secondo le norme ACI-307, ha quindi subito danni gravi, Figura 3

#### Apparecchiature tozze appoggiate direttamente sulle fondazioni

Questi oggetti hanno dimensioni confrontabili nelle tre direzioni e sono caratterizzate da masse elevate; possono raggrupparsi in due categorie:

Grandi serbatoi per il contenimento dei liquidi a pressione atmosferica, di forma cilindrica con un rapporto altezza/diametro da 2 a 0.2. Il fondo è circolare e poggia direttamente sulla fondazione, che di solito è realizzata in modo semplice, similmente a una massciata stradale: vespaio, strato di granigliato di selce e sopra uno stato di graniglia fine bitumata.

Il tetto può essere fisso e solidale al mantello cilindrico o galleggiante sul liquido contenuto. Il volume utile varia da poche decine a 200.000 m<sup>3</sup>. Quando sono pieni hanno una massa considerevole; sotto l'azione sismica parte di questa massa è posta in oscillazione, producendo forze elevate sulle pareti del serbatoio che sono sempre sottili in rapporto al diametro, mentre la parte superiore del liquido forma un'onda di "sloshing" che ne può provocare il versamento.

Grandi macchine di processo, come filtri e decantatori, o apparati dinamici, quali pompe e compressori. Questi apparati hanno grandi masse che sono poste a terra o su strutture basse; richiedono fondazioni di grande inerzia, a causa delle sollecitazioni dinamiche che si producono in condizioni di funzionamento.

#### Descrizione dei danni

Come per altri tipi di strutture, i danni inferti dal terremoto di Nigata sono stati causati principalmente dai cedimenti del terreno.



Figura 23. Serbatoi: Elephant Foot Buckling,

Durante il terremoto di Valparaiso i principali danni hanno interessato i serbatoi, generalmente appoggiati su di un letto di sabbia e privi di ancoraggi. Serbatoi di diverso volume sia a tetto fisso che galleggiante hanno subito danneggiamenti. Spesso il danno era localizzato alla base, per cedimento della saldatura tra il fondo e le pareti. In diversi casi alla base del serbatoio si è manifestato il fenomeno dell'instabilità elasto-plastica delle pareti, noto come "Elephant Foot Buckling", Figura 4, mentre in altri è stato osservato il danneggiamento dei serbatoi a tetto fisso a falda conica, causato dalla depressione interna prodotta dal rapido svuotamento. A questi danni spesso si sono accompagnati fenomeni di cedimento del terreno, che hanno causato danni alle tubazioni uscenti dai serbatoi. Anche durante il terremoto di Loma Prieta, alcuni serbatoi posti su suolo non consolidato sono stati variamente danneggiati: "elephant foot buckling", perdita del contenuto, distacco di tubazioni.

In Costa Rica il terremoto ha prodotto infine vari danni ai serbatoi della raffineria Moin.

Un altro scenario di danno significativo per questa apparecchiatura è quello che si è presentato nella raffineria Tupras di Izmit, a seguito del disastroso terremoto di Koaceli e che ha riguardato i serbatoi di nafta di un parco stoccaggi. L'attrito o addirittura l'urto tra il tetto galleggiante e il mantello di uno o più serbatoi, dopo che la tenuta aveva probabilmente subito delle deformazioni, ha prodotto scintille che hanno incendiato i vapori di nafta. L'incendio che si è generato nel serbatoio, per irraggiamento si è esteso agli altri serbatoi del parco, distruggendone gran parte e rendendo praticamente impossibile il riconoscimento dei danni diretti portati dalle sovrappressioni indotte dal sisma. Una cosa analoga è successa anche durante il terremoto di Tokachi-oki, Figura 24.



*Figura 24 incendio interno al serbatoio prodotto dall'urto tetto-mantello (torch fire)*

### Apparecchiature tozze sostenute da pilastri

Si possono includere in questa categoria:

- Serbatoi sferici, frequentemente usati per contenere sostanze gassose, liquefatte sotto pressione. Sono in genere sollevati rispetto al suolo, sostenuti da un certo numero di sostegni posti lungo la circonferenza, collegati alla sfera a livello dell'equatore ed irrigiditi con controventi diagonali, Figura 6a.

- Serbatoi cilindrici per gas liquefatti a bassa temperatura; hanno una configurazione simile a quella dei serbatoi per i liquidi descritti nel paragrafo precedente, ma le pareti sono formate da un guscio doppio, con un'intercapedine di materiale isolante e sono sostenuti su corti piedistalli che li pongono ad una certa distanza dal suolo, Figura 25.
- Forni di processo e generatori di vapore. Questi apparati hanno lo scopo di riscaldare i liquidi trattati, in base alle esigenze del processo chimico. I forni sono strutture di notevoli dimensioni, con poche forme standardizzate: a cattedrale o a cilindro verticale. Questi forni devono essere tenuti sollevati da terra mediante due o più linee di pilastri, in relazione alla collocazione a pavimento dei bruciatori che richiede il passaggio di tubazioni nonché lo spazio per i lavori di manutenzione.



*Figura 25 - Serbatoi sferici irrigiditi con controventi, b) serbatoio cilindrico per gas liquefatto a bassa temperatura sostenuto da pilastri.*

#### Descrizione dei danni

I serbatoi per gas liquefatti, sostenuti da piastrelli in c.a. subirono anch'essi notevoli danni a seguito del collasso del basamento, durante il terremoto di Izmit, Figura 26



*Figura 26 danneggiamento serbatoi per gas liquefatti.*

## Tubazioni

Le tubazioni collegano praticamente tutte le apparecchiature coinvolte nel processo trasferendo i fluidi elaborati negli impianti; come si è detto, in una grande raffineria vi sono centinaia di chilometri di tubazioni di ogni dimensione, realizzate prevalentemente in metallo, ma anche occasionalmente in ceramica, vetro, calcestruzzo, ecc., nel caso sia richiesta una specifica resistenza alla corrosione.

### Descrizione dei danni

Di per sé le tubazioni metalliche non sono particolarmente vulnerabili all'azione sismica, ma possono risentire degli effetti degli spostamenti differenziali di strutture diverse, o di parti della stessa struttura, da esse collegate, e che possono risultare non compatibili con la deformabilità della tubazione. Possono inoltre danneggiarsi a seguito del collasso di qualche struttura di sostegno.

Nelle condutture che trasportano petrolio grezzo o i prodotti lavorati (oleodotti) a grande distanza, generalmente interrate, l'azione sismica potrebbe provocare danni legati a elevate deformazioni del terreno.

### Strutture di sostegno

Le tubazioni, gli scambiatori di calore, le pompe, i ventilatori e molti altri apparati necessari per le lavorazioni, richiedono opportune strutture di sostegno. La loro configurazione è condizionata dalle esigenze della produzione, per cui si hanno molte strutture di tipo diverso, con irregolare distribuzione delle masse e delle rigidità; inoltre le modifiche spesso apportate al processo produttivo durante il periodo di vita dell'impianto, si riflettono in cambiamenti della geometria di queste strutture.

Le strutture di sostegno presenti nelle raffinerie di oli minerali sono in prevalenza telai in acciaio, non di rado irrigidite mediante controventi. Tuttavia non sono rare strutture realizzate in altro materiale, particolarmente cemento armato o strutture miste acciaio-calcestruzzo.

### Descrizione dei danni

Nei rapporti esaminati non si trovano particolari segnalazioni di danni alle strutture di sostegno. Alcuni telai di servizio ai reattori, durante il terremoto di Loma Prieta, subirono limitati danni a causa delle insufficienti dimensioni dei controventi. Alcune strutture di sostegno dei ventilatori subirono danni. Si trattava di una struttura inizialmente destinata al sostegno delle tubazioni, ma in seguito utilizzata per un gruppo di ventilatori. Alcune travi di sostegno cedettero per instabilità elastica.

### *Effetti di sito e microzonazione sismica*

La risposta locale rappresenta il risultato dell'interazione tra terremoto, sito e costruzione. Questo fattore viene spesso sottovalutato anche se può avere conseguenze estremamente gravi come, si è verificato in occasione del terremoto in Emilia del 2012. In presenza di particolari condizioni geotecnico-geomorfologiche del sito, si verifica una modifica di ampiezza, frequenza e durata delle onde sismiche: variano cioè le caratteristiche vibratorie del sisma. L'effetto può essere valutato attraverso il rapporto tra il moto sismico nel sito e quello che si osserverebbe per lo stesso terremoto in una roccia rigida pianeggiante. Se questo rapporto è maggiore di 1, si parla di amplificazione, che costituisce uno degli effetti di sito più rilevanti.

Collegato all'amplificazione è il fenomeno della "doppia risonanza", probabilmente tra i più pericolosi effetti locali di un sisma. Quando il periodo fondamentale dell'onda sismica, il periodo di vibrazione del terreno e quello della struttura sono all'incirca uguali ecco che i loro effetti si sommano e nasce un'amplificazione del moto sismico.

Un altro importante fenomeno di cui tenere conto è la liquefazione del terreno che si verifica quando un terreno saturo e privo di coesione passa rapidamente dallo stato solido a quello liquido. Il passaggio di fase è dovuto all'incremento della pressione interstiziale e la perdita di resistenza a taglio indotti dal sisma. Il fenomeno è stato particolarmente rilevante nel caso del terremoto in Emilia.

In ultimo devono essere considerati anche altri fenomeni locali come la densificazione e gli effetti topografici, nonché la possibilità che vengano innescati o riattivati, anche a distanza di tempo, fenomeni di instabilità dei versanti e subsidenza.

Gli studi di Microzonazione Sismica costituiscono lo strumento fondamentale per valutare la pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. Nello specifico, secondo ICMS (2008) le microzone sono individuate e caratterizzate secondo tre categorie:

- zone stabili: zone dove non si ipotizzano effetti locali di rilievo;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: zone dove sono attese amplificazioni del moto sismico dovute alla litostratigrafia e alla morfologia locale;
- zone suscettibili di instabilità: zone dove gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio.

Le tipologie di instabilità individuate sono:

- - instabilità di versante;
- - liquefazioni;
- - faglie attive e capaci;
- - cedimenti differenziali.

Sono stati determinati tre livelli di approfondimento per gli studi di microzonazione sismica, con complessità ed impegno crescenti:

- Livello 1: consiste nella raccolta e nell'elaborazione di dati preesistenti allo scopo di suddividere il territorio in microzone con comportamento sismico qualitativamente omogeneo. Tale Livello di analisi risulta propedeutico per i successivi livelli di approfondimento; solo in alcuni casi particolari può essere considerato esaustivo. Il risultato del Livello 1 è la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.
- Livello 2: in questo livello vengono condotti degli approfondimenti conoscitivi per le incertezze individuate nel Livello 1 e viene associato alle microzone omogenee l'elemento quantitativo, espresso come fattore di amplificazione  $F_a$ , con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche). Il risultato di questo Livello di approfondimento è la Carta di microzonazione sismica.
- Livello 3: rappresenta il livello di maggiore approfondimento che viene realizzato nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nei casi di situazioni geologiche e geotecniche complesse, non risolvibili con l'uso degli abachi, o qualora l'estensione della zona in studio renda conveniente un'analisi globale di dettaglio o per opere di particolare importanza, oppure nelle zone suscettibili di instabilità particolarmente gravose per complessità del fenomeno e/o diffusione areale, non risolvibili con l'uso di metodologie speditive. I risultati sono di tipo quantitativo quali gli spettri di risposta, per le amplificazioni; gli spostamenti, i cedimenti, l'indice di liquefazione, per le instabilità. Il prodotto di questo Livello è la Carta di microzonazione sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

#### *Amplificazione locale ed interazione terreno –serbatoio*

I serbatoi cilindrici, specialmente quelli non ancorati, si sono dimostrati particolarmente vulnerabili. Le cause sono spesso da imputare ad una progettazione inadeguata, in cui non si è tenuto conto dell'effettivo livello di forze, e degli effetti legati all'"uplift" del serbatoio, che si può verificare nella parte soggetta a decompressione, quando il fondo è semplicemente appoggiato sul terreno.

Se le pressioni dinamiche sulle pareti sono dovute principalmente al fluido trascinato nel moto del serbatoio, l'onda superficiale di lungo periodo (sloshing) che interessa la parte più alta del liquido può produrre anch'essa effetti negativi. Oltre al possibile superamento del franco con conseguente versamento del contenuto, nei serbatoi con tetto galleggiante l'onda superficiale produce ampie oscillazioni del tetto che comportano la rottura delle guarnizioni e la fuoriuscita del contenuto; nel caso di serbatoi con contenuto infiammabile questa può essere la causa iniziatrice di un incendio di vaste proporzioni, come si è visto per la raffineria Tupras di Izmit.

Il punto critico delle tubazioni è costituito dai giunti di collegamento ai vari apparati connessi, qualora non si sia tenuto conto del moto relativo che si può verificare tra le parti collegate. L'aspetto più preoccupante per quanto concerne il rischio sismico di questi impianti, è quello delle conseguenze prodotte dai danni, in se anche non rilevanti, dovuti al terremoto, ossia agli incendi del materiale altamente infiammabile che esse trattano ed al possibile rilascio di sostanze inquinanti o tossiche. Naturalmente tutti questi impianti sono dotati di sistemi di protezione atti a ridurre il rischio e le conseguenze di incidenti di questo tipo; tuttavia questi sistemi sono per lo più studiati per far fronte ad eventi accidentali e non all'azione sismica, e

si è visto che in caso di terremoto queste precauzioni si sono dimostrate insufficienti, poiché il sisma può produrre, oltre l'incidente, anche la messa fuori servizio dei sistemi di protezione e di gestione dell'emergenza, per esempio interrompendo l'afflusso dell'acqua o mettendo fuori uso i sistemi che trasportano o producono l'energia necessaria ad alimentare i sistemi antincendio.

### *Moto di fluidi in serbatoi sotto azione sismica: effetti sui serbatoi cilindrici*

La progettazione sismica di serbatoi contenenti liquidi si deve basare sulla conoscenza delle forze idrodinamiche che il fluido esercita sulla parete.

Una valutazione accurata di queste forze richiede una corretta modellazione e analisi dinamica del sistema liquido-serbatoio, che rappresenta un problema che può essere affrontato per esempio mediante la tecnica degli elementi finiti, che consente la soluzione di un sistema non lineare in tempi di calcolo ragionevoli.

Programmi general purpose, come Adina o Ansys, possono quindi trattare questo problema in forma generale. Tuttavia la possibilità di utilizzare modelli meccanici ha portato una considerevole semplificazione. I modelli meccanici convertono il sistema liquido-serbatoio in un sistema equivalente composto da masse e molle. Utilizzando questo tipo di approccio, nell'analisi vengono impiegati numerosi altri parametri, quali:

- la distribuzione delle pressioni sulla parete del serbatoio dovuta all'eccitazione sismica;
- il periodo di oscillazione del serbatoio;
- gli effetti dell'interazione fra suolo e struttura;
- l'altezza massima dell'onda di slosh.

Un modello meccanico essenzialmente sostituisce il sistema liquido-serbatoio con una massa-molla, che semplifica notevolmente la valutazione delle forze idrodinamiche. In questi modelli la massa di fluido che si muove all'interno del serbatoio viene distinta in due componenti: una che si muove all'unisono con il serbatoio (componente impulsiva), l'altra che segue il moto di slosh (componente convettiva). I modelli meccanici sono stati sviluppati inizialmente per serbatoi rigidi; Housner (1963) fu il primo a proporre un modello per schematizzare il comportamento di serbatoi rigidi circolari e rettangolari. Nel 1978 Wozniak e Mitchell hanno generalizzato il modello di Housner ai serbatoi snelli. Successivamente Haroun e Housner nel 1981 e Veletsos nel 1984 hanno sviluppato modelli per i serbatoi flessibili. Una semplificazione al modello di serbatoio flessibile di Veletsos è infine stata proposta nel 2000 da Malhotra. Le normative hanno in genere ripreso i modelli meccanici sviluppati per tradurli in indicazioni per l'analisi sismica dei serbatoi. Le norme statunitensi, fra cui la API 650, utilizzano il modello di Housner del 1963 con le modifiche apportate da Wozniak e Mitchell nel 1978. Le NZSEE guidelines (Nuova Zelanda) utilizzano per i serbatoi flessibili il modello di Housner del 1981. L'Eurocodice 8 indica il modello meccanico di

Veletsos e Yang del 1977 come procedura accettabile per l'analisi di serbatoi rigidi circolari. Per quanto riguarda invece i serbatoi flessibili, sono presentati i modelli di Veletsos (1984), Haroun e Housner (1981), insieme alla procedura di Malhotra (2000).

### ***Riduzione della vulnerabilità sismica degli impianti RIR***

Gli impianti chimici RIR, ad oggi, sono progettati assumendo come carico sismico quello definito dalla normativa nazionale, che si basa fundamentalmente sulle caratteristiche degli edifici civili ed utilizza un approccio probabilistico (ProbabilisticSeismicHazardAssessment o PSHA);

Da qualche anno diverse istituzioni ed enti di ricerca stanno sviluppando metodologie per la definizione e la mitigazione del rischio sismico dei grandi impianti industriali.

L'isolamento sismico, in particolare, potrebbe comportare elevati vantaggi per gli impianti chimici RIR, non solo perché è in grado di accrescere la loro sicurezza sismica, ma anche perché spesso permette di raggiungere tale risultato eliminando le complicazioni del loro lay-out che, nel caso di fondazioni convenzionali, si rendono necessarie per assicurare loro un'adeguata protezione dal terremoto e perché, in molti casi con tale tecnica sono agevolmente adeguabili sismicamente componenti esistenti;

Sullo sviluppo dei suddetti sistemi e sulla loro applicazione alle diverse tipologie di strutture (civili ed industriali) l'ENEA vanta un'esperienza ultraventennale; in particolare, per quanto attiene all'uso di tali sistemi negli impianti chimici RIR, sono da citare gli studi condotti nell'ambito dei progetti di ricerca ISI (valutazione dell'applicabilità dell'isolamento sismico alla protezione sismica di componenti di Impianti industriali) ed INDEPTH (Development of Innovative DEvices for SeismicProtection of PeTroCHemicalFacilities), che hanno anche evidenziato l'importanza di stime adeguate dello spostamento del suolo.

I serbatoi di stoccaggio sferici si sono rivelati particolarmente vulnerabili dal punto di vista sismico, a causa della grande massa del fluido in essi disposta ad una notevole altezza dal suolo e della scarsa resistenza ai carichi orizzontali offerta dal sistema dei controventi in essi presente;

Per il loro *retrofit*, è risultato che, quando il valore di progetto dell'accelerazione massima orizzontale del terreno in caso di sisma (Peak Ground Acceleration o PGA) è superiore a 0,25 g, *l'inserimento di controventi dissipativi comporta una notevole riduzione del danno causato dal sisma*, rispetto ad interventi di rinforzo convenzionali, a parità di costo, assicurando protezione fino a valori di PGA pari a circa 0,6 g; per i suddetti serbatoi, se di nuova costruzione, invece, si è verificato che, per valori di PGA superiori a circa 0,25 g, l'isolamento sismico evita danni a costi inferiori rispetto a quelli richiesti dalla progettazione tradizionale;

Per i serbatoi LNG, visti le grandi dimensioni ed i notevoli pesi in gioco, l'isolamento alla base è stata considerata la soluzione di riferimento per la protezione sismica, per valori di PGA maggiori di 0,25 g;

Più in generale, le notevoli competenze nel settore impiantistico sviluppate in ambito nucleare, potrebbero essere molto utilmente impiegate a supporto della progettazione strutturale e realizzazione di nuovi impianti e componenti chimici RIR e di interventi di retrofit su quelli esistenti.

Questi interventi, non potendo essere simultanei, potrebbero essere pianificati secondo una priorità oggettivamente definita anche in accordo con le stime di pericolosità dipendenti dal tempo, basate sull'identificazione, sistematicamente aggiornata, delle aree dove risulta aumentata la probabilità di un forte terremoto.



*Figura 27 - Pampa Melchorita (Perù): serbatoio LNG da 130.000 m<sup>3</sup> protetto da isolatori sismici (a scorrimento a triplo pendolo)*



*Figura 28 - Particolare di isolatore sismico*



*Figura 29 - Protezione sismica di serbatoi sferici realizzati col metodo Horton (supporto equatoriale su colonne): esempio di rinforzo con controventi rigidi*



*Figura 30 - Protezione sismica di serbatoi sferici realizzati col metodo Horton: eliminazione delle colonne ed inserimento di una base centrale sotto cui sono facilmente inseribili gli isolatori*

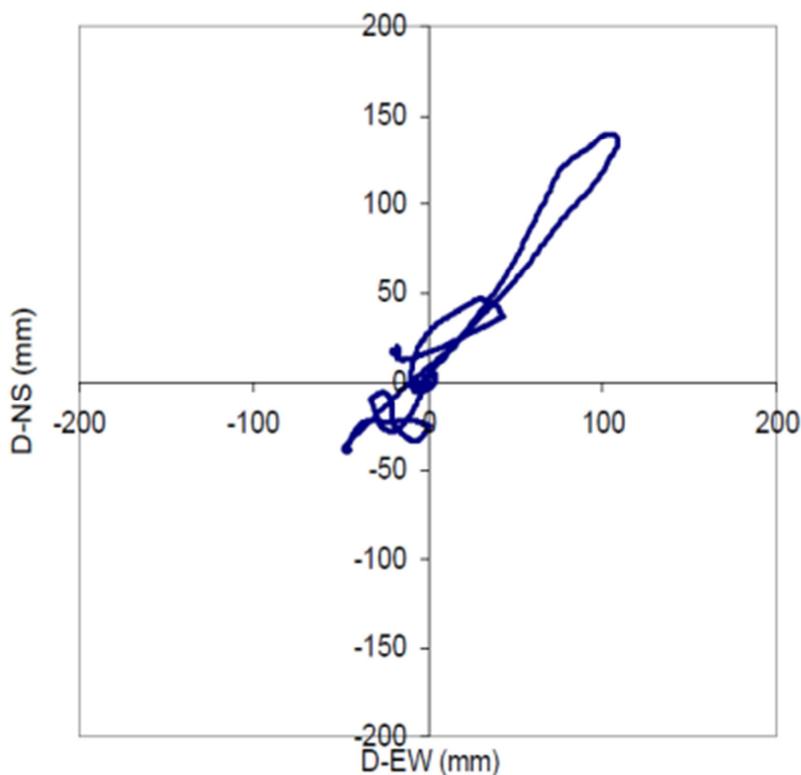


Figura 31 - Risultati di una prova dinamica effettuata su un isolatore sismico applicando la registrazione di un terremoto reale (moto tridirezionale).

#### *Classi di componenti di impianti RIR e loro danni potenziali a seguito di sisma*

Nel seguito i principali componenti di un impianto, sono indicativamente raggruppati in classi, sulla base di una relativa similitudine delle caratteristiche geometriche e meccaniche. Le classi esaminate sono:

- Contenitori snelli
- Apparecchiature tozze, poste direttamente sulle fondazioni
- Apparecchiature tozze, poggianti su pilastri
- Colonne
- Tubi e sistemi di tubazioni
- Strutture di sostegno
- Strutture portuali
- Apparecchiature meccaniche
- Controlli e strumentazioni
- Apparecchiature elettriche
- Impianti antincendio
- Edifici strategici

Il quadro dei potenziali danneggiamento può essere di ausilio per una selezione preliminare dei componenti critici che in caso di evento ed a seguito, ad esempio, di una perdita di contenimento, possono determinare incidenti di magnitudo significativa.

In ALLEGATO 1 è riportato un quadro di sintesi degli elementi d'impianto e relativi danni potenziali a seguito di evento sismico

### *Tecnologie per la protezione sismica delle strutture*

Le varie tecnologie innovative rientrano nel più vasto ambito del controllo strutturale, che include sistemi passivi, attivi, ibridi e semi-attivi. Una raffigurazione efficace del quadro che ne deriva è fornita dallo schema seguente (figura 32):

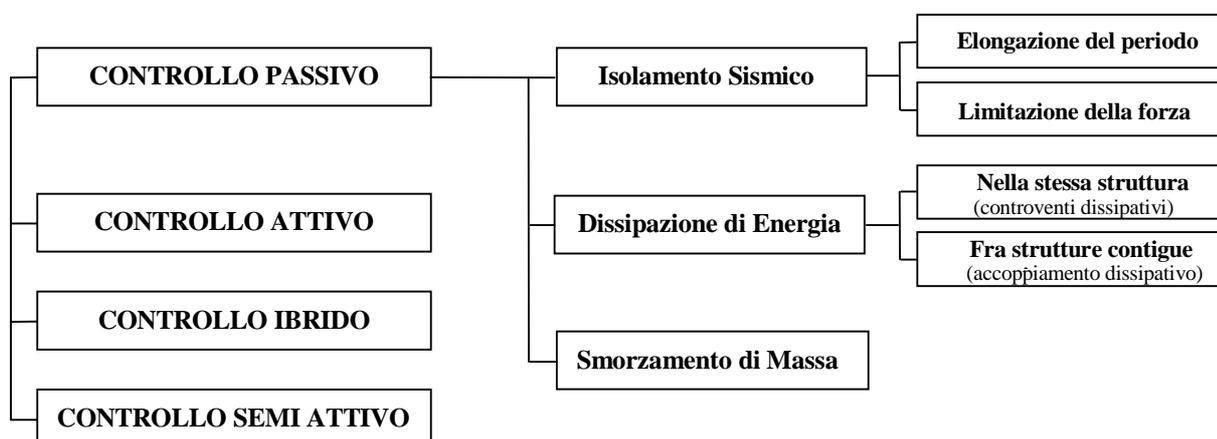


Figura 32 – Schema sintetico delle tecnologie di protezione sismica

Nei sistemi di *controllo passivo* speciali dispositivi, specificamente predisposti allo scopo e opportunamente collocati nella struttura, ne modificano le caratteristiche di rigidità e/o le capacità dissipative in senso favorevole ottenendone la riduzione della risposta dinamica alle azioni del sisma. I dispositivi agiscono passivamente, nel senso che non hanno bisogno di una sorgente esterna di energia per funzionare; essi esercitano sulla struttura forze di tipo reattivo che si sviluppano in risposta al moto della stessa.

Nei sistemi di *controllo attivo* una sorgente di energia esterna è invece elemento indispensabile. Essa viene usata per azionare un sistema di attuatori, i quali applicano alla struttura forze variabili nel tempo, allo scopo di contrastare le forze derivanti dalla azione esterna, per ottenerne riduzioni sostanziali della risposta dinamica; gli altri elementi indispensabili sono un sistema di sensori, distribuiti nella struttura in modo da misurarne, efficacemente e in tempo reale, dati significativi della risposta nella sua evoluzione temporale, ed un calcolatore che elabora questi dati e che, servendosi di sofisticati algoritmi, determina le

forze di controllo e comanda gli attuatori che le applicano. Il sistema è complesso e richiede erogazioni notevoli di potenza durante l'azione di controllo.

Per *controllo ibrido* si intende di solito un sistema di controllo che usa in maniera combinata sistemi di controllo attivi e passivi.

Infine i sistemi di controllo *semi-attivo* sono sistemi basati sull'utilizzo di dispositivi analoghi a quelli del controllo passivo, con la differenza di presentare, però, caratteristiche meccaniche regolabili nel tempo. La regolazione, durante il fenomeno vibratorio, di queste caratteristiche costituisce l'operazione di controllo; il vantaggio rispetto al controllo attivo sta nel fatto che questa regolazione richiede solo modeste erogazioni di potenza, ordini di grandezza più basse di quelle che si usano nel controllo attivo. Restano necessari il sistema di sensori, per il monitoraggio della risposta, e il calcolatore, per l'elaborazione dei dati e la gestione dell'algoritmo di controllo che governa la regolazione nel tempo dei parametri dei dispositivi.

L'esperienza acquisita ha di fatto selezionato come praticabili, per applicazioni di protezione sismica, i soli sistemi passivi e semi-attivi. Lasciando da parte questi ultimi che, a fronte del vantaggio di richiedere piccole erogazioni di potenza, mantengono comunque una elevata complessità di gestione e manutenzione, si fa riferimento, nel seguito, ai soli sistemi di controllo passivo. Questi ultimi si possono classificare, a loro volta, in tre categorie: *Isolamento Sismico*, *Dissipazione di Energia*, *Smorzamento di Massa*.

Il funzionamento dei sistemi di controllo passivo si comprende bene se si tiene conto di alcuni semplici risultati della dinamica dell'oscillatore ad un grado di libertà soggetto a moto della base, (il sisma nel nostro caso); questi risultati sono sinteticamente ed efficacemente espressi in termini di spettri di risposta di grandezze significative, ad esempio forze e spostamenti. Come è noto, l'oscillatore elastico ad un grado di libertà è il modello più semplice per descrivere il comportamento dinamico di una struttura. Suoi parametri caratteristici sono la massa,  $m$ , la rigidità,  $k$ , e il coefficiente di smorzamento viscoso,  $c$ . Quando l'oscillatore è soggetto ad un moto impresso alla base, descritto da una storia temporale di accelerazioni, o accelerogramma, la sua risposta dipende solo dal periodo proprio delle oscillazioni libere,  $T$ , ( $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ ), e dallo smorzamento, espresso come rapporto ad uno smorzamento critico,  $\xi = cT/4\pi m$ . Quest'ultimo parametro esprime, in maniera sintetica e cumulativa, un insieme di fenomeni a carattere dissipativo, di solito presenti in una struttura reale, che assicurano che, dopo che è cessata la causa, le vibrazioni si esauriscano, più o meno rapidamente a seconda dei valori più grandi o più piccoli del parametro. Poiché di solito interessano soltanto i valori massimi delle grandezze, piuttosto che l'intera storia temporale, la risposta ad un dato accelerogramma (terremoto) si considera ben caratterizzata da diagrammi, che vengono definiti spettri di risposta, in cui, in funzione del periodo proprio dell'oscillatore,  $T$ , che compare in ascissa, e per diversi valori dello smorzamento  $\xi$ , sono riportati in ordinata i valori massimi di grandezze significative della risposta, e cioè, ad esempio, accelerazioni assolute, (leggibili anche come forze di inerzia per unità di massa), e spostamenti.

Figura 33 – Spettro della forze in funzione del periodo

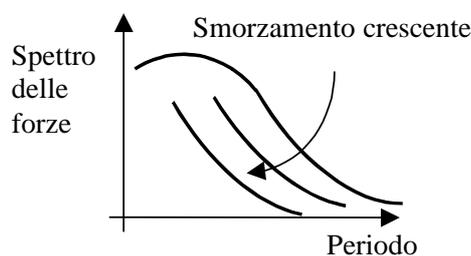
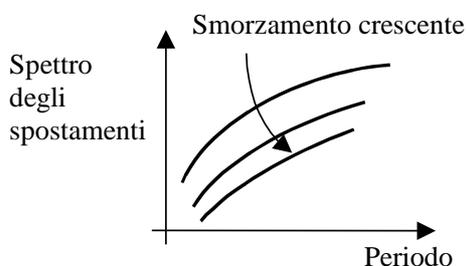


Figura 34– Spettro degli spostamenti in funzione del periodo



L'esame congiunto dello spettro di risposta delle forze, (o accelerazioni), e di quello degli spostamenti, per un tipico terremoto, (un esempio qualitativo di tali spettri è riportato nelle figg.33 e 34), mostra che esiste una zona di periodi per i quali le forze sismiche sono massime, per poi decrescere significativamente al crescere del periodo, mentre gli spostamenti crescono sempre al crescere del periodo. La risposta, sia in termini di forze che di spostamenti massimi, si riduce invece sempre, per qualsiasi periodo, al crescere dello smorzamento  $\xi$ . Tenendo conto del fatto che il periodo proprio delle strutture reali cade di solito nella zona dello spettro cui corrispondono le massime forze, si comprende che i provvedimenti per ridurre la risposta strutturale possono consistere nello spostare il periodo verso i periodi alti, cui corrispondono forze basse, o nell'incrementare lo smorzamento, ovvero le capacità dissipative presenti nella struttura. Le strutture progettate in maniera tradizionale possono sopravvivere, senza collassare, ai terremoti violenti perché è previsto, e consentito, che esse cessino di comportarsi elasticamente e si danneggino più o meno gravemente. Il danneggiamento strutturale ha infatti il duplice effetto di rendere la struttura più flessibile, e quindi di aumentarne il periodo, e di provvedere meccanismi di dissipazione più efficaci, associati alla fessurazione e a rotture parziali di elementi strutturali e non strutturali.

Ciò premesso, i sistemi di *Isolamento Sismico* sono basati sulla possibilità di realizzare un certo livello di disaccoppiamento tra il moto della struttura e quello del terreno, per proteggere la struttura dagli effetti di danneggiamento del terremoto. A questo scopo viene creata, di solito alla base della struttura, cioè a livello

della fondazione, (si parla allora più propriamente di Isolamento alla Base), o, talvolta, in altra posizione a diverso livello, una discontinuità che di fatto divide la struttura in due parti, che potremmo definire sottostruttura e sovrastruttura, tra le quali si inseriscono speciali dispositivi, che chiameremo *Isolatori*, capaci di trasmettere le forze verticali e caratterizzati da elevata flessibilità elastica per scorrimenti orizzontali. La presenza degli isolatori modifica favorevolmente la trasmissione delle vibrazioni tra sottostruttura e sovrastruttura, ottenendo l'effetto di ridurre le forze di inerzia sulla sovrastruttura. Ne derivano elevati spostamenti relativi nel dispositivo di isolamento che è necessario contenere entro limiti accettabili. Questo contenimento si può ottenere utilizzando una dissipazione aggiuntiva, che può essere presente nel dispositivo stesso di isolamento o può essere dato dall'aggiunta di un altro organo speciale, che chiameremo *Dissipatore*, e di cui sarà necessario parlare in seguito, a proposito dei sistemi di dissipazione di Energia.

I sistemi di isolamento sismico si possono ulteriormente classificare in due categorie principali: quelli che realizzano essenzialmente una *elongazione del periodo* per la struttura isolata e quelli basati sulla *limitazione della forza* trasmessa tra sottostruttura e sovrastruttura.

Nei sistemi che appartengono alla prima categoria gli isolatori sono organi a comportamento sostanzialmente elastico, molto flessibili in direzione orizzontale, e perciò capaci di spostare il periodo proprio della struttura verso zone dello spettro delle forze a valori notevolmente più bassi rispetto a quelli corrispondenti al periodo proprio della struttura non isolata. Un certo livello di smorzamento aggiuntivo è richiesto dalla necessità di limitare gli spostamenti relativi nell'isolatore; come già detto questo si può pensare incorporato nello stesso oggetto fisico dell'isolatore, o può essere demandato ad altro dispositivo speciale, posto in parallelo. Le figg. 35 e 36 forniscono l'evidenza grafica dei favorevoli effetti congiunti dello spostamento del periodo e dell'incremento della dissipazione.

Nei sistemi che appartengono alla seconda categoria la limitazione della forza trasmessa è affidata alla presenza nell'isolatore di un meccanismo di comportamento elasto-plastico o rigido plastico, con predeterminato valore limite della forza plastica che esso può fornire. Questo tipo di comportamento è di per se dissipativo; ne deriva un automatico effetto di contenimento degli spostamenti massimi; anche la progettazione dell'isolatore si potrà basare su concetti che chiamano in causa direttamente la dissipazione di Energia, rendendo meno determinante l'effetto di spostamento del periodo.

Figura 35: spettro delle forze al variare dello smorzamento

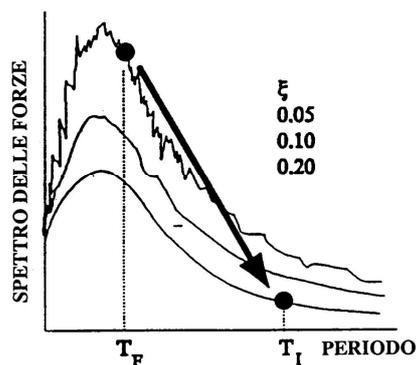
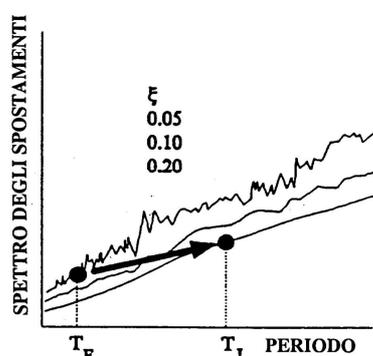


Figura 36 – Spettro degli spostamenti al variare dello smorzamento



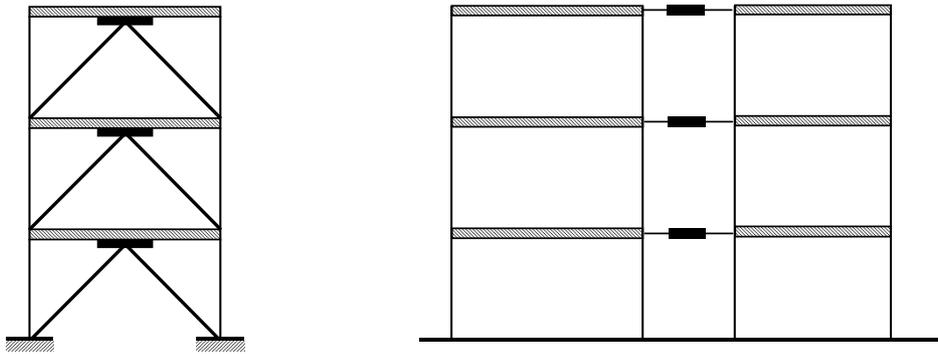
I sistemi di controllo basati sulla *Dissipazione di Energia* utilizzano l'effetto favorevole di riduzione della risposta, sia in termini di forze che di spostamenti, indotto da un incremento artificiale delle capacità dissipative della struttura; tale incremento si ottiene mediante l'inserimento di speciali dispositivi che chiameremo *Dissipatori*, o Smorzatori. Questi dispositivi devono essere inseriti in opportune posizioni all'interno della struttura, dove sono attesi significativi spostamenti e velocità relativi, ed essere capaci di dissipare energia in modo stabile ed efficace, entrando in funzione, possibilmente, già per piccole ampiezze di vibrazione, ma comunque ben prima che gli elementi strutturali portanti abbandonino il campo del comportamento elastico e comincino a danneggiarsi per effetto del terremoto. In questo modo, tenendo separate le funzioni portanti, affidate agli elementi strutturali tradizionali, da quelle dissipative, affidate a dispositivi speciali, si può raggiungere il risultato di ridurre la risposta sismica, usando la dissipazione di energia, senza dovere accettare il danneggiamento della struttura.

Ai fini della classificazione è opportuno distinguere ulteriormente due casi, in base alla configurazione geometrica e alla posizione dei dissipatori:

- i dissipatori sono inseriti nell'ambito della *stessa struttura*, essendo collegati a punti di essa che durante il moto subiscono spostamenti e velocità relativi; il caso più tipico è quello dei cosiddetti controventi dissipativi, (fig.37), in cui i dissipatori sono inseriti in sistemi di controvento e dissipano energia nello spostamento relativo fra due piani successivi di una struttura intelaiata;

- i dissipatori sono inseriti fra *strutture contigue*, o parti strutturalmente indipendenti della stessa struttura, e dissipano energia nel moto relativo; questo presuppone che le due strutture/parti indipendenti abbiano caratteristiche dinamiche diverse, in modo da vibrare in maniera differenziata, (fig.37).

fig.37 – Telaio con controventi dissipativi (sinistra) e dissipatori tra strutture contigue (a destra)



Nei sistemi a *Smorzamento di Massa* il controllo della vibrazioni avviene per effetto della aggiunta di masse ausiliarie, opportunamente posizionate e collegate con speciali dispositivi alla struttura da proteggere. L'effetto di smorzamento del moto della struttura principale avviene come conseguenza del trasferimento di energia dalla struttura alla massa ausiliaria durante il moto. Il sistema è molto adatto a controllare vibrazioni indotte da azioni dinamiche aventi una sola frequenza dominante, e non così efficace in presenza di eccitazioni, quali i terremoti, che presentano un ampio spettro di componenti in frequenza. Lo smorzamento di massa è stato usato con successo soprattutto per il controllo delle vibrazioni indotte dal vento. In quel che segue non se ne parlerà ulteriormente.

### *Sistemi di isolamento sismico e di dissipazione dell'energia*

I concetti alla base dei due sistemi di controllo passivo che si sono più affermati come tecniche di protezione sismica, l'isolamento sismico e la dissipazione aggiuntiva di energia, sono relativamente semplici e conosciuti da molto tempo. Sono note, ad esempio, proposte di sistemi di isolamento per proteggere gli edifici dal sisma, con relativo deposito di brevetti, che risalgono a più di un secolo fa. La nascita e lo sviluppo di applicazioni significative riguardano invece solo gli ultimi venticinque anni. Il motivo di ciò sta nella evoluzione tecnologica, che solo di recente ha consentito la messa a punto di *Isolatori* e *Dissipatori*, cioè degli elementi hardware essenziali di queste tecnologie, dotati dei giusti requisiti prestazionali e di comportamenti affidabili.

Gli *Isolatori* sono dispositivi di collegamento e appoggio che possono trasmettere elevate forze verticali e permettere grandi movimenti relativi, (dell'ordine di 20-40 cm), in almeno una o in entrambe le direzioni orizzontali, fornendo bassi livelli di forza di reazione orizzontale. Sono state proposte diverse tipologie di isolatori.

Gli isolatori elastomerici sono attualmente la tipologia più utilizzata; essi hanno forma parallelepipedica o cilindrica e sono realizzati in gomma naturale, o artificiale, rinforzata di solito con strati di lamine di acciaio per aumentarne la capacità portante e ridurre la deformabilità verticale. Essi sono caratterizzati da un comportamento pressoché elastico, con elevata flessibilità a taglio in direzione orizzontale. Per aumentarne le capacità dissipative si adoperano additivi nelle mescole in gomma, che possono portare lo smorzamento equivalente fino al 20% (isolatori elastomerici ad alto smorzamento, HDRB, High Damping Rubber Bearings), oppure si inserisce in un foro verticale cilindrico uno spinotto in piombo che, deformandosi insieme all'isolatore, si plasticizza e contribuisce in maniera rilevante alla dissipazione di energia (isolatori elastomerici con spinotto in piombo, LRB, Lead Rubber Bearings). (figg.38 e 39).

Figura 38: isolatori elastomerici ad alto smorzamento, HDRB, High Damping Rubber Bearings

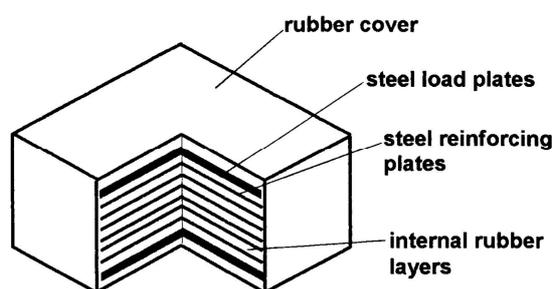
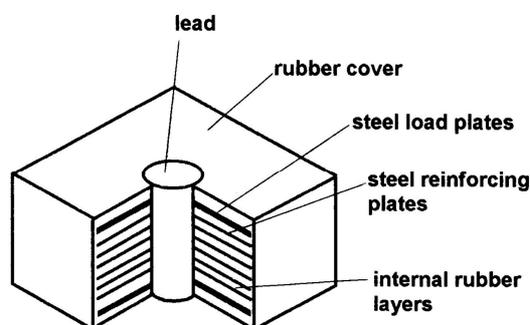


Figura 39: isolatori elastomerici con spinotto in piombo, LRB, Lead Rubber Bearings



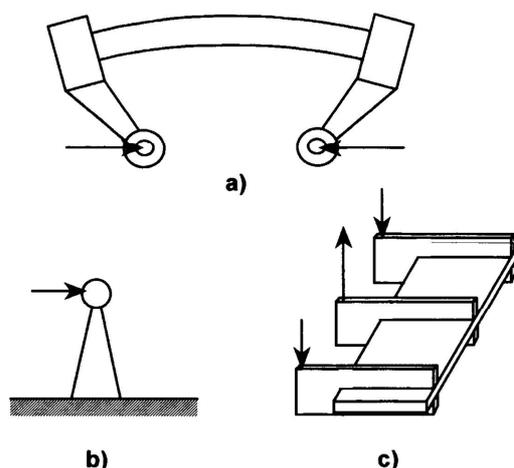
Fra le altre tipologie vale la pena di citare anche gli isolatori realizzati dal contatto di due superfici che possono slittare l'una rispetto all'altra con basso coefficiente di attrito, (SB, sliding bearings), i materiali in contatto potendo essere, ad esempio, acciaio inossidabile e teflon, e le superfici di slittamento piane o curve e gli isolatori il cui funzionamento si basa sul rotolamento di cilindri o sfere (roller Bearings RB)

interposte tra piastre a superficie interna piana o curva. Descrizioni dettagliate delle tipologie di isolatori proposti e utilizzati nelle applicazioni possono trovarsi in testi recenti dedicati all'isolamento sismico.

I *Dissipatori* sono dispositivi che hanno il compito di dissipare energia nel moto relativo di punti a cui sono collegati. La loro classificazione può essere fatta per tipologia di meccanismo di dissipazione su cui si basa il loro funzionamento. Una distinzione essenziale è quella fra dissipatori isteretici e dissipatori viscosi. I primi sono dispositivi il cui funzionamento dipende solo dagli spostamenti relativi, i secondi hanno un comportamento dipendente essenzialmente dalle velocità relative.

Tra i primi il gruppo più importante è quello dei dissipatori metallici, usualmente realizzati in acciaio a basso tasso di carbonio. L'energia viene dissipata per deformazioni plastiche associate a meccanismi di sollecitazione flessionali o torsionali di elementi strutturali di forma appropriatamente selezionata.

Figura 40: dispositivi flessionali (a e b) e torsionale (c)



La scelta della forma geometrica, in concomitanza con la scelta del tipo di sollecitazione, e quella del materiale dalle caratteristiche meccaniche più adatte, costituiscono la fase più delicata del progetto; lo scopo è di ottenere che le deformazioni plastiche si diffondano il più uniformemente possibile nell'intero volume dell'elemento, evitandone la localizzazione in zone ristrette; si assicura così un comportamento isteretico stabile sotto cicli ripetuti e si evita il collasso precoce per fatica oligociclica del dispositivo. Una vasta tipologia di dispositivi che realizzano questi requisiti è disponibile. Alcuni esempi di questi sono rappresentati in fig.40, che mostra, in particolare, due dispositivi flessionali a) e b), e uno torsionale, c).

Alla stessa classe dei dissipatori isteretici appartengono i dispositivi ad attrito. Essi utilizzano, per dissipare energia, l'attrito che si produce fra superfici accoppiate, in presenza di una forza normale di contatto. Il principio di funzionamento è molto semplice, la realizzazione molto economica e il ciclo dissipativo teorico altamente efficiente; permangono però perplessità non risolte legate alla incontrollabilità della stabilità nel

tempo del coefficiente d'attrito fra superfici che possono restare a contatto per lunghissimi periodi senza scorrere reciprocamente.

I dispositivi viscosi utilizzano il comportamento viscoso di speciali solidi o fluidi per dissipare energia; questo comportamento è essenzialmente dipendente dalla velocità. Si possono citare, ad esempio, i dissipatori che utilizzano speciali solidi, polimeri o elastomeri ad alto smorzamento, il cui comportamento non è, però, puramente viscoso bensì visco-elastico, (fig.41), o quelli a fluido viscoso, costituiti da un pistone cilindrico che si muove in un fluido, (olio o fluido siliconico) (fig. 42)

Figura 41: Dissipatori a comportamento visco-elastico

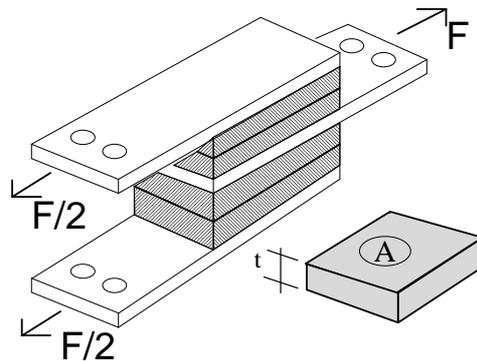
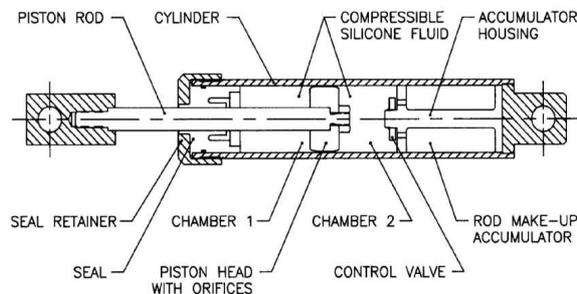


Figura 42: Dissipatori a fluido viscoso



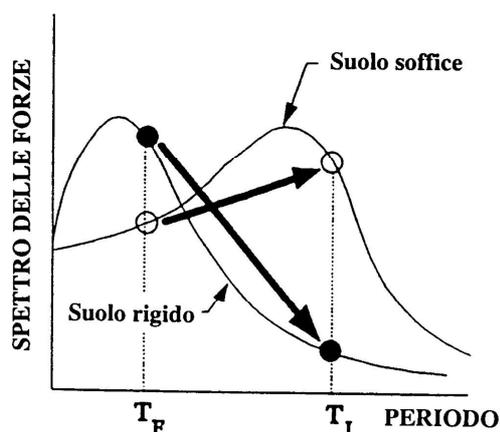
La scelta dei sistemi di controllo passivo come strategia di protezione sismica per le strutture civili di nuova costruzione viene spesso motivata dalla necessità di fornire un alto livello di protezione a costruzioni strategicamente importanti (Ospedali, Caserme dei Vigili del Fuoco, Stazioni di Polizia etc.) o ad alto valori degli oggetti contenuti (Musei, Laboratori con macchinari ad alta tecnologia ed alto costo). Per la costruzione di nuovi edifici residenziali, non a carattere strategico, la filosofia più tradizionale di progettazione si ritiene in generale ancora valida, tenendo conto del fatto che i costi iniziali di costruzione con sistemi innovativi sono di solito più alti che per strutture convenzionali.

Diverso è il discorso che riguarda l'adeguamento. In questo secondo caso la realizzazione di un adeguamento strutturale che utilizza sistemi di controllo passivo può, in dipendenza delle circostanze, e specialmente quando le strutture esistenti sono molto deficienti rispetto al soddisfacimento delle verifiche sismiche, essere globalmente più conveniente di un adeguamento di tipo tradizionale, sia dal punto di vista del costo che dal punto di vista dei tempi di esecuzione dell'intervento e del disturbo che si arreca alle attività che si svolgono nella struttura da adeguare.

Nello scegliere il sistema di protezione passiva, per esempio fra l'isolamento e la dissipazione aggiuntiva di energia, bisogna tenere conto di tutta una serie di fattori che riguardano le peculiarità della struttura da proteggere; questo vale in particolare per i problemi di adeguamento per i quali la presenza di vincoli legati alla esistenza di una situazione di fatto può essere determinante nella scelta; di solito il problema dell'adeguamento si presenta come più difficile rispetto alla progettazione del nuovo.

La tipologia della costruzione e del sistema strutturale sono importanti in quanto l'isolamento è più adatto per strutture di non grande altezza e quindi non molto flessibili, mentre la dissipazione di energia funziona meglio per strutture più alte e più flessibili. Quando è molto importante la riduzione delle forze, in relazione ad esempio alla protezione degli oggetti contenuti l'isolamento sismico può essere la scelta migliore. L'applicazione efficace dell'isolamento sismico presuppone peraltro una buona conoscenza delle caratteristiche del sito della costruzione e del contenuto in frequenza del terremoto atteso. Quando sono attese componenti di grande ampiezza alle basse frequenze, (cioè per periodi elevati), come per esempio per suolo soffice, l'isolamento sismico, specie nella versione di elongazione del periodo, potrebbe essere addirittura controproducente (fig.43).

Figura 43: spettro delle forze-periodo in funzione del tipo di suolo



*Applicazione dei sistemi innovativi di protezione sismica*

Gli impianti industriali sono a tutti gli effetti sistemi complessi ed è proprio questa complessità del layout, fitto di molteplici connessioni, apparecchiature e componenti, unita alla complessità del funzionamento, a renderli particolarmente vulnerabili (vulnerabilità locale) al sisma.

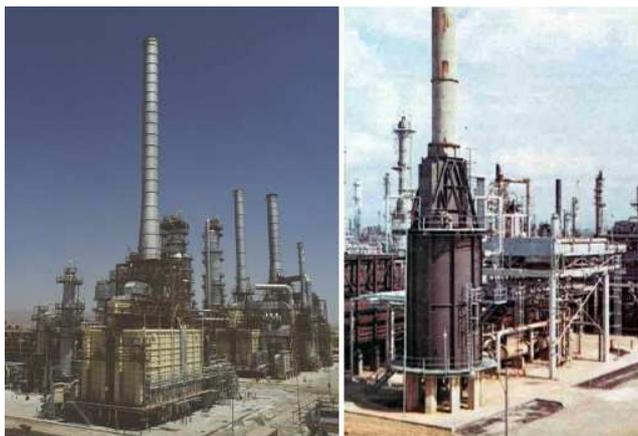
Le operazioni che si svolgono negli impianti di processo possono inoltre assumere localmente carattere seriale, nel senso che le operazioni di processo vengono realizzate con una precisa sequenza e con determinate condizioni al contorno. La "crisi" di un elemento può quindi generare la messa fuori servizio dell'intero sistema, e ciò incide ulteriormente sulla vulnerabilità sismica dell'intero impianto (vulnerabilità generale).

Negli ultimi anni, nella progettazione antisismica è stata sviluppata una nuova linea che, invece di aumentare la resistenza delle strutture alle sollecitazioni prodotte dai terremoti, cerca di ridurre l'entità delle forze che il sisma trasmette alla struttura. Queste tecniche che, per le costruzioni civili, si possono ritenere oramai consolidate, possono essere impiegate anche per la protezione sismica delle strutture industriali, e si possono classificare in base al fenomeno fisico su cui si basa la loro azione, e precisamente:

- a) isolamento sismico,
- b) dissipazione di energia,
- c) smorzamento di massa.

Non tutte queste tecniche si possono applicare in modo indifferenziato a ciascun tipo degli apparati di un impianto, sia perché la loro adozione può essere più o meno facile, soprattutto negli interventi di miglioramento, sia perché la loro efficacia dipende dalle caratteristiche specifiche della struttura. Per esempio, nella Figura 44 è mostrato un forno a cattedrale, su cui è possibile utilizzare l'isolamento sismico, inserendo gli isolatori tra la sovrastruttura e i pilastri di base. Si può inoltre pensare di progettare opportunamente il camino in modo da utilizzarlo come sistema TMD.

*Figura 44: Forno a cattedrale e cilindrico*



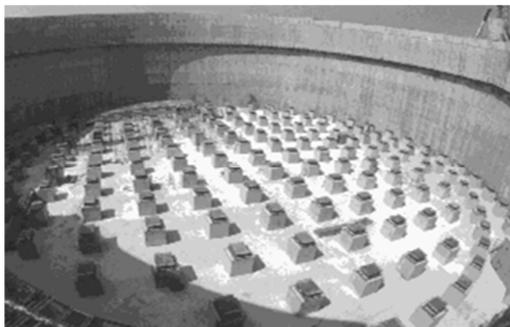
Le applicazioni di tali tecniche ai componenti degli impianti industriali sono di fatto ancora poco diffuse. Nell'ultimo decennio si sono registrate singole e isolate applicazioni per impianti a rischio di incidente rilevante, limitatamente all'isolamento alla base di serbatoi di medie e grosse dimensioni. In particolare vanno menzionati i casi dell'isolamento alla base con isolatori Friction Pendulum di un serbatoio LNG appartenente al terminal di Revythousa in Grecia ed all'isolamento di un serbatoio di ammoniaca mediante isolatori elastomerici , Figura 45.

Si segnala inoltre il primo caso italiano di isolamento alla base di serbatoi. L'applicazione, riguarda l'isolamento con Friction Pendulum di un piccolo serbatoio metallico sopraelevato appartenente al polo petrolchimico di Priolo Gargallo nel Siracusano.

Se analizziamo i componenti degli impianti industriali per i recipienti snelli i danni più probabili in caso di sisma sono lo snervamento delle barre di ancoraggio alla fondazione dovute alle eccessive sollecitazioni e la perdita di fluidi per la rottura delle giunzioni flangiate, causata dagli eccessivi spostamenti. La soluzione di protezione sismica che appare più efficace è l'accoppiamento dissipativo tra strutture adiacenti (ad esempio prevedendo il collegamento dissipativo con un telaio di servizio o con un'altra struttura con caratteristiche dinamiche differenti).

Per quanto riguarda i recipienti tozzi poggiati direttamente a terra, alcuni danneggiamenti tipici osservati (cedimento della saldatura fondo-parete, elephant foot buckling, deformazione tetto-mantello, cedimento del terreno attorno e sottostante il serbatoio) si possono eliminare con l'isolamento sismico /10/ che riduce drasticamente le sollecitazioni. Gli altri danneggiamenti e incidenti possibili, dovuti al moto di sloshing anche in presenza del tetto galleggiante (overtopping, incendio dovuto all'urto tra tetto e mantello), non sono né ridotti né amplificati dall'isolamento. Una possibile riduzione degli effetti conseguenti agli urti tra il tetto galleggiante e le pareti del serbatoio può essere fornita dall'impiego di distanziatori posti tra il tetto ed il mantello, che impediscano gli urti, o dall'inserimento nel tetto di un sistema TMD (ad es. un Tuned Column Mass Damper )

Figura 45. Isolamento alla base di un serbatoio LNG del terminal di Revythousa Island (Grecia)



Per tutte le apparecchiature tozze poste su pilastri, con o senza controventi, l'utilizzo dell'isolamento sismico appare efficace, con l'unico inconveniente di aumentare lo spostamento relativo dell'apparato rispetto a quelli circostanti e che potrebbe, in assenza di opportune contromisure, compromettere l'integrità delle tubazioni collegate. Anche l'utilizzo dei controventi dissipativi può essere efficace. Questi dispositivi riducono le sollecitazioni e gli spostamenti, ma in alcuni casi possono risultare invasivi e limitare l'operatività delle apparecchiature. In alcuni casi, come per i serbatoi sferici, si può utilizzare l'accoppiamento dissipativo mediante una struttura reticolare ausiliaria rigida. Anche in questo caso si ha l'inconveniente di avere un intervento che può essere troppo invasivo.

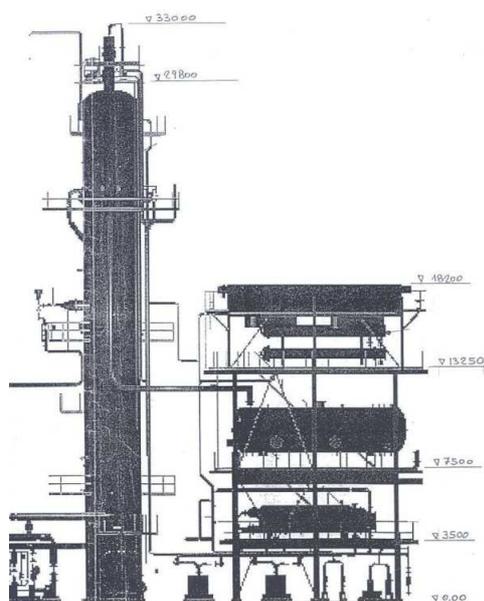
Infine, per i forni, oltre all'isolamento, una tecnica raffinata di riduzione delle sollecitazioni consiste nel progettare l'eventuale camino sovrastante, Figura 15a, in modo che funzioni come un TMD.

Per le strutture di sostegno delle tubazioni o di servizio agli impianti, realizzate da telai in acciaio od in cemento armato, è possibile utilizzare diverse tecniche di controllo. Per la riduzione delle sollecitazioni e degli spostamenti si possono utilizzare i controventi dissipativi e l'accoppiamento dissipativo (vedi recipienti snelli). Per evitare il danneggiamento delle apparecchiature necessarie alla lavorazione, sostenute ai vari piani (compressori, pompe, serbatoi ...), si può utilizzare la tecnica del TMD, usando come masse ausiliarie quelle delle apparecchiature stesse. In questo modo è possibile non soltanto ridurre le sollecitazioni nei telai, ma anche evitare il danneggiamento alle apparecchiature. Anche in questo caso occorre fare attenzione e porre rimedio agli inevitabili spostamenti relativi tra le apparecchiature e il piano.

### *Protezione sismica di strutture adiacenti in impianti industriali*

Negli impianti dell'industria di processo è frequente che, a livello di disposizione delle unità operative, apparecchiature di processo come colonne, reattori, serbatoi e/o raggruppamenti di varie apparecchiature e componenti funzionali su rack si trovino relativamente vicine tra loro. Queste situazioni sono molto interessanti poiché permettono l'applicazione della metodologia di controllo dell'accoppiamento dissipativo delle strutture, la quale ha già mostrato in diversi studi di carattere teorico-numerico e anche sperimentale, la propria efficacia nella riduzione della risposta dinamica. La situazione strutturale assunta ad oggetto del presente caso studio è tipica e ricorrente in impianti industriali, ed è costituita da un colonna Vacuum Flash facente parte di un impianto di Thermal Cracking di una raffineria (figura 46).

Figura 46. Vista d'insieme della colonna e del telaio



La colonna è costituita, ai fini della modellazione strutturale, da un cilindro cavo in acciaio in parete sottile, alto circa 28 m, di diametro di circa 3.20 m e spessore variabile da 20 a 12 mm. Affiancato a tale colonna, ad una distanza di circa 7 m e ad essa collegato da un certo numero di tubazioni, si trova un telaio in acciaio di tre piani usato per sostenere apparecchiature di servizio all'impianto. In particolare il telaio, che ha ingombro in pianta di 9 x 5.50 m e altezza complessiva di circa 18 m, al primo livello (quota 3.50 m) sostiene un generatore di vapore, al secondo livello (quota 7.50 m) sostiene un gruppo da vuoto e infine al terzo

livello (quota 13.25) sostiene altre apparecchiature. Il telaio è formato a sua volta da due telai, distanziati di 5.50 m, a due campate a ritti pendolari, la cui resistenza alle azioni orizzontali è garantita soltanto dai controventi. Nell'altra direzione sono presenti tre telai ad una campata a nodi rigidi, con interasse di 4.50 m, caratterizzati da una più elevata rigidità e resistenza alle azioni orizzontali. Per le fondazioni delle due strutture si è assunto che siano formate da una unica piastra in c.a. molto rigida, cui sono fissati sia il telaio che la colonna.

I possibili incidenti a seguito di un evento sismico sono legati al verificarsi di perdite di contenimento in corrispondenza di connessioni flangiate (alimentazione, riflusso, al condensatore, nelle tubazioni in generale, ecc.) o il danneggiamento strutturale della colonna (ad esempio in corrispondenza delle unioni alla base), con conseguente rilascio nell'ambiente di miscele infiammabili e/o tossiche. Ciò può avvenire ben prima che le strutture di sostegno raggiungano il limite del collasso.

A tale proposito gli indicatori di pericolo, che permettono di identificare le grandezze di risposta che devono essere limitate durante l'evento sismico, sono di fatto rappresentati dal mantenimento dell'assetto della colonna e del telaio fra loro e rispetto alle tubazioni ad essi connesse. Ciò indica chiaramente che oltre ad una verifica in termini di resistenza ultima delle strutture (collasso), è necessario effettuare una verifica in termini di spostamenti massimi dell'insieme. Dal punto di vista strutturale appare evidente l'esigenza di non mobilitare la duttilità strutturale, ma di considerare lo stato limite ultimo quale uno stato limite elastico, cioè considerare la struttura in sicurezza soltanto se in assenza totale di danno strutturale.

Ciò è ulteriormente richiesto dalla considerazione che sia la colonna che il telaio, quest'ultimo almeno nella direzione debole X, sono in pratica strutture isostatiche che hanno una limitata capacità di assorbire il danneggiamento, potendo contare solo sulla duttilità di sezione degli elementi (alla base) che plasticizzano per primi, e non sulla duttilità di struttura attivabile solo in presenza di risorse iperstatiche.

#### *Riduzione della vulnerabilità sismica degli impianti antincendio in impianto RIR*

Come evidenziato da eventi sismici verificatisi in tutto il mondo, il sisma spesso non compromette la struttura portante di un edificio, ma gli impianti, determinandone la messa fuori servizio. Gli stessi impianti potrebbero, a seguito del sisma, essere fonte di innesco di incidenti rilevanti.

Le NTC, che non si applicano agli stabilimenti RIR, forniscono, comunque, alcune indicazioni per la progettazione degli elementi non strutturali e, in particolare, prescrivono che tutti gli elementi costruttivi senza funzione strutturale, il cui danneggiamento può provocare danni a persone, devono essere verificati all'azione sismica, insieme alle loro connessioni alla struttura.

A tal proposito, sono state elaborate numerose regole tecniche e linee guida, emanate da enti di normazione volontaria, che forniscono indicazioni per la progettazione antisismica degli

impianti e degli elementi non strutturali. Il Dipartimento Vigili del Fuoco (VVF), Soccorso Pubblico e Difesa Civile – Direzione Centrale Prevenzione e Sicurezza Tecnica – nel dicembre 2011 ha emanato una linea-guida per la riduzione della vulnerabilità sismica degli impianti antincendio, scaricabile dal sito istituzionale del vigili del fuoco, dall'indirizzo: <http://www.vigilfuoco.it/asp/notizia.aspx?codnews=14831>.

La guida propone un procedimento in quattro fasi, appreso descritto, per la definizione d'interventi di riduzione del rischio sismico degli impianti significativi da un punto di vista antincendio. Nella prima fase è individuata la classe di pericolosità del sito (classe A o B, in base al valore dell'accelerazione massima al suolo prevista). Nella seconda fase, a seconda dello scenario di rischio del manufatto, è attribuita una categoria di rischio, dalla I alla IV. Nella terza fase, combinando la classe di pericolosità del sito e la categoria di rischio degli scenari di installazione, è individuato il livello di richiesta dei requisiti di sicurezza. Infine, nella fase 4, sono individuate le specifiche misure per la riduzione del rischio sismico per gli impianti.

La guida VVF, tramite una semplice metodologia (utilizzo di tabelle ed abachi), indica quindi dei provvedimenti efficaci per la riduzione della vulnerabilità sismica degli impianti antincendio, dei rivelatori di incendio, degli ascensori antincendio e di soccorso, dei gruppi elettrogeni, degli impianti di adduzione di fluidi infiammabili, combustibili, comburenti e può essere considerata come il punto di partenza per lo sviluppo di una metodologia della riduzione della vulnerabilità sismica anche negli impianti RIR. A tal fine è necessario, tuttavia, che le analisi di rischio contenute nei rapporti di sicurezza siano integrate da valutazioni in merito alla sicurezza sismica degli impianti sia nella stima delle frequenze di accadimento degli incidenti, che nell'analisi delle conseguenze degli stessi

### ***La riduzione della vulnerabilità rispetto al rischio idrogeologico***

Eventi alluvionali a seguito di esondazione di corsi d'acqua possono causare gravi danni agli stabilimenti industriali ed innescare il rilascio accidentale di sostanze pericolose nell'ambiente circostante. A seguito di un'inondazione le componenti più vulnerabili di un'installazione industriale sono le componenti elettriche, come i pompe, motori ed eventuali sistemi per il mantenimento criogenico di sostanze pericolose dalle caratteristiche volatili, danni alle strutture che regolano la gestione della sicurezza, come rilevatori per le fuoriuscite di gas e di altri sistemi di monitoraggio ed antiincendio.

A seguito di un'alluvione, i principali scenari incidentali che possono verificarsi sono:

- ✓ La dispersione e il trasporto attraverso l'aria (nube tossica), acqua e suolo di sostanze tossiche/ nocive pericolose per l'uomo e per l'ambiente; anche minime quantità di queste sostanze possono essere fonte di allarme e preoccupazione
- ✓ Reazioni violente a causa del contatto tra sostanze pericolose reattive all'acqua, con formazione di gas tossici;
  - ✓ Incendi ed esplosioni.
  - ✓ Danni strutturali all'impianto dovuti alla collisione contro le strutture di detriti anche di grosse dimensioni trascinati dall'impeto delle acque

#### Azioni di rimedio

Come azioni di rimedio e di prevenzione da potenziali eventi Na-Tech indotti da fenomeni alluvionali e di inondazione è necessaria una pianificazione di emergenza che includa il miglioramento delle misure di mitigazione al fine di ridurre i danni sia materiali che economici. Tra gli interventi finalizzati a tale scopo possiamo distinguere due classi: interventi permanenti e interventi temporanei.

##### a) Interventi permanenti

Tali interventi sono finalizzati ad incrementare la resistenza delle infrastrutture industriali con appropriate scelte di materiali e soluzioni progettuali:

- ✓ ancoraggio a livello di fondazioni dei serbatoi di stoccaggio in modo che essi non galleggino o subiscano fenomeni di tilting;
- ✓ costruzione e/o potenziamento di barriere di contenimento o degli argini di protezione dei corsi d'acqua;
- ✓ sviluppo e costruzione di un sistema di drenaggio efficace che contrasti l'innalzamento del livello idrometrico;
- ✓ stoccaggio e posizionamento strategico delle sostanze pericolose in modo da evitare incompatibilità chimica;
- ✓ posizionamento di sistemi di immagazzinamento pressurizzati e/o criogenici di sopra del massimo livello idrometrico previsto;

##### b) Interventi temporanei

La tempistica di questi interventi è strettamente legata ai tempi con cui le Autorità sono in grado di diffondere con avvisi la fase di "pre-allarme" a causa di una possibile inondazione. Tali interventi consistono in misure di protezione da adottare in caso di imminente pericolo, tra cui si citano:

- ✓ interruzione del processo produttivo;
- ✓ ancoraggio delle strutture più a rischio e strutturalmente più fragili con cavi in acciaio o simili;
- ✓ verifica della tenuta dei serbatoi di stoccaggio, attraverso la sigillatura ermetica dei silos e dei serbatoi di stoccaggio sotterranei;
- ✓ de-locazione e stoccaggio delle sostanze chimiche reattive e materiali pericolosi in aree a quote maggiori e più sicure;
- ✓ evacuazione del personale non essenziale per le operazioni di emergenza.

### **Indicazioni di massima per la pianificazione e l'attuazione di misure di mitigazione in riferimento ad eventi NaTech su impianti RIR**

In sintesi, l'analisi storica ha permesso di verificare che, tra gli effetti più rilevanti del terremoto sugli impianti, vi sono stati la perdita di energia elettrica, fenomeni connessi agli effetti sui grandi serbatoi (ad esempio *sloshing*, *elephantfootbuckling*, *uplifting*), la perdita di pressione dell'acqua con conseguenze sugli impianti di protezione attiva. In particolare, le apparecchiature più vulnerabili sono quelle per il trasporto e per lo stoccaggio dei materiali (*pipelines*, *pipeworks*, *storage tanks*). Gran parte degli incidenti *Na-Tech* avviene con il rilascio di sostanze pericolose; la probabilità di danno con perdita di contaminante (LOC) è molto più elevata dei danni strutturali; le strutture maggiormente colpite sono le tubazioni e i serbatoi non in pressione.

Per la definizione delle aree di danno connesse all'evento *Na-Tech* si può fare riferimento alle norme *AppliedTechnologyCouncil*, in particolare alla "*Earthquakedamageevaluation data for California*" n. 13 (ATC 13), che permette di valutare la probabilità di perdita di liquido da serbatoio nei due casi di serbatoio poggiato al suolo e di serbatoio su struttura elevata rispetto al suolo. Gli scenari *Na-Tech* così valutati, rispetto a quelli in condizioni ordinarie, comportano aumento della dimensione delle zone di sicuro impatto, di danno e d'attenzione, aumento della dimensione complessiva dell'area di interesse per l'applicazione del modello di intervento, aumento degli elementi vulnerabili compresi nelle "aree di danno", variazione della compatibilità territoriale tra scenario *Na-Tech* e categorie della pianificazione urbanistica esterna all'impianto.

Al fine di incrementare la resilienza funzionale ed organizzativa in caso di evento sismico, in stretto riferimento a quanto riportato nell'analisi storica, è proposto un possibile percorso di indirizzo per la mitigazione dell'evento *Na-Tech*, le cui fasi principali consistono nella valutazione preventiva dei possibili effetti indotti dal sisma sulle apparecchiature critiche dell'impianto, nell'individuazione preventiva degli elementi critici da monitorare/verificare e dei relativi indicatori di pericolo, nella definizione di misure interne di mitigazione individuando i termini sorgente di scenari *Na-Tech* formulati, ad esempio, con le norme ATC 13, nel considerare necessariamente la perdita di energia elettrica, la perdita di pressione e/o l'indisponibilità della risorsa idrica, l'insorgenza di fenomeni quali *sloshing*, *buckling*, *uplifting*, *sliding*, liquefazione, difficoltà e/o impossibilità d'intervento da parte delle strutture operative e, infine, nell'implementazione di idonee Procedure Operative Standard (P.O.S.) di stabilimento (ad esempio anche nell'ambito dell'SGS) per le attività di monitoraggio di elementi critici e indicatori di pericolo a seguito di evento sismico e per l'attuazione delle relative misure di mitigazione.

A tal fine, sono stati predisposti un quadro di riferimento metodologico ed una *check list* di verifica. In conclusione, rispetto agli scenari *Na-Tech* su impianti RIR, è possibile declinare alcuni punti di miglioramento dell'attuale assetto di riferimento normativo: revisione ed aggiornamento dei criteri di pianificazione di emergenza esterna (PEE) in funzione degli scenari *Na-Tech*; adozione di indirizzi per la pianificazione delle misure di mitigazione per evento *Na-Tech* sugli impianti RIR (indirizzi operativi e *check list*); valutazione dell'effetto *Na-Tech* quale rischio indotto nell'ambito

del Sistema di Pianificazione Nazionale e Territoriale in applicazione di quanto previsto dalla Legge n. 100/2012; revisione dei criteri di Pianificazione Urbanistica e Territoriale per le zone interessate da impianti RIR (DM 09/05/2001), con particolare riferimento alla Legge n. 100/012.

Di seguito sono riportati alcune indicazioni di massima per l'attuazione di misure di mitigazione in riferimento ad evento Natech connessi a tre tipologie di eventi naturali:

- sisma
- tsunami
- evento idrogeologico estremo

#### *Pianificazione delle misure di mitigazione evento NaTech per rischio sismico su impianto RIR*

Le fasi principali della pianificazione delle misure di mitigazione per evento sismico su impianto RIR, in stretto riferimento a quanto riportato nell'analisi storica, consiste nella:

- verifica dei livelli di progettazione degli elementi dello stabilimento rispetto alla classificazione sismica ed alla micro zonazione con valutazione preventiva dei possibili effetti indotti dal sisma sulle apparecchiature critiche dell'impianto (colonne, camini, reattori, torce, serbatoi, forni, piping)
- individuazione preventiva degli elementi critici da monitorare/verificare (es. assetto di una colonna rispetto alle tubazioni ad essa connesse, geometria dei serbatoi, stato delle superfici, interfacce, stato dei pilastri di appoggio, stato dei tirafondi di collegamento tra fondazione e struttura, stato di tubazioni, valvole, flange)rispetto ad un forte evento sismico anche mediante verifiche prestazionali rivolte alla compatibilità degli spostamenti e delle accelerazioni con le condizioni limite di funzionamento al contorno. In particolare:
  - verifica elementi il cui cedimento catastrofico può comportare scenari incidentali con aree di danno all'esterno dell'impianto non comprese del RdS
  - verifica elementi/impianti/apparecchiature preposte alla mitigazione della magnitudo del rischio in caso di evento (control room, sistema antincendio, sistemi DCS controllo processo, linee vapore/azoto, ecc)

- verifica dei sistemi/dispositivi la cui indisponibilità per mancato funzionamento può essere causa predisponente di più eventi contemporanei (es. dispositivi di sicurezza)
  - verifica della compatibilità delle masse in quota, delle utilities preposte alla garanzia dei livelli di sicurezza (es. riserva idrica), della necessità di installare sistemi di shut down (es. valvole connesse ad accelerometri)
  - verifica del comportamento di strutture accoppiate a diversa resistenza e/o deformabilità (es. accoppiamento piping a serbatoi)
- idonea definizione preventiva dei relativi indicatori di pericolo da monitorare (es. perdita di contenimento, rilascio di miscele infiammabili/esplosive/tossico-nocive, variazione di parametri di controllo quale la pressione sui sistemi DCS)
  - definizione di misure interne di mitigazione (vedere tabella 1 e tabella 2) relative ai potenziali danneggiamenti delle apparecchiature critiche, agli elementi di riferimento ed agli indicatori di pericolo individuati, individuazione dei termini sorgente di incidenti rilevanti, necessariamente considerando anche le seguenti difficoltà potenzialmente derivanti dallo scenario reale di evento (scenari natech):
    1. la perdita di energia elettrica
    2. la perdita di pressione e/o indisponibilità della risorsa idrica
    3. l'insorgenza di fenomeni quali sloshing, buckling, uplifting; sliding, liquefazione
    4. difficoltà e/o impossibilità di intervento da parte delle strutture operative già impegnate per altre richieste di soccorso tecnico
  - implementazione di Procedura Operativa Standard (P.O.S.) di stabilimento (es. anche nell'ambito dell'SGS<sup>5</sup>) per le attività di monitoraggio di elementi critici e indicatori di pericolo a seguito di evento sismico oltre che per l'attuazione delle relative *misure di mitigazione* compreso earlywarningsystem
  - pianificazione della continuità operativa (eventuali *piani di continuità operativa sul modello BCM*)

Di seguito sono riportate le seguenti tabelle di riferimento:

<sup>5</sup>Sistema di gestione della sicurezza dello stabilimento

- **Tabella 9**- Quadro di riferimento per la pianificazione di emergenza scenario NaTech: - effetti del sisma su apparecchiature critiche, elementi da monitorare e indicatori di pericolo, misure di protezione e mitigazione
- **Tabella 10** - Quadro di sintesi delle misure di mitigazione

Tabella 9- Quadro di riferimento per la pianificazione di emergenza scenario NaTech: effetti del sisma su apparecchiature critiche, elementi da monitorare e indicatori di pericolo, misure di protezione e mitigazione

Tipologia strutturale	Apparecchiature/ strutture critiche	Danni tipici per sisma	Esempi di elementi di riferimento da monitorare	Esempi di indicatori di pericolo	Esempi di misure di prevenzione/protezione <sup>6</sup>	Esempi di misure di pianificazione <sup>7</sup>
Apparecchiature a struttura verticale e snella (libere e ingabbiate)	Colonne Reattori Camini Torce	Perdita di fluidi da connessioni flangiate <sup>8</sup>  Snervamento bulloni di ancoraggio e perdita stabilità colonna	Mantenimento dell'assetto della colonna rispetto alle tubazioni ad essa connesse	Perdita di contenimento Rilascio di miscela infiammabili e/o esplosive o tossiche	Collegamento struttura verticale snella con struttura adiacente con diverso periodo caratteristico Irrigidimento mediante gabbie reticolari con elementi dissipativi <sup>9</sup>	Definizione scenari natech  Verifica preventiva mantenimento o requisiti prestazionali impianto a seguito evento naturale
Apparecchiature a struttura a tozza poggiata e al suolo	Serbatoi di grandi dimensioni a tetto fisso e galleggiante	Fenomeno del Buckling Rottura interfaccia fondo mantello  Tetto galleggiante contro il mantello Cedimento del terreno attorno e sottostante il serbatoio con conseguente collasso  Perdita totale di contenimento a seguito di eccessivi stress sul mantello	Geometria del serbatoio  Stato delle superfici  Stato dell'interfaccia fondo-mantello	Perdita di contenimento <sup>10</sup>	Isolamento alla base <sup>11</sup> Elementi dissipativi distanziatori tetto-mantello Consolidamento terreno di fondazione	Definizione di verifiche e monitoraggio post-evento sismico (procedura SGS)  Addestramento o per operare in condizioni natech
Apparecchiature a struttura sostenute in elevazione da elementi discreti	Sfere  Forni di processo Serbatoi criogenici isolati da terra  Serbatoi piezometrici in cls	Cedimenti mantello in corrispondenza dell'attacco delle zampe <sup>12</sup>  Collasso della struttura per cedimento di una o più zampe e/o rottura di uno o più controventi  Cedimento della struttura di sostegno  Possibile collasso del camino sovrastante  Possibile distacco delle tubazioni vincolate o sospese, possibile distacco del refrattario	Stato di tensione nelle zampe e nei controventi  Assetto del forno e accessori  Stato pilastri di sostegno del forno	Perdita di contenimento  Sversamenti di sostanza infiammabile  Generazione di situazione di non controllo dei limiti di infiammabilità /esplosività all'interno del forno Variazioni parametri di controllo <sup>13</sup>	Controventi dissipativi Isolamento dissipativo Tecnica di isolamento alla base Accoppiamento dissipativo	Addestramento o per operare in condizioni natech (verifiche, interventi su impianto, ecc)  BCM (analisi rischio, analisi impatto sui processi critici, procedure di disaster recovery, procedure BCM)
Piping	Flange Valvole Tubazioni	Spostamenti elevati Danneggiamento guarnizione flange		Perdita di sostanza da tubazioni <sup>14</sup>	Isolamento sismico tubazioni	

<sup>6</sup> Vedere anche tabella 2

<sup>7</sup> Vedere anche tabella 2

<sup>8</sup> Per esempio alimentazione per colonna di distillazione

<sup>9</sup> Accoppiamento dissipativo

<sup>10</sup> Una quantità anche minima di sostanza infiammabile può generare un incendio che può coinvolgere il serbatoio stesso (impingement) e per effetto domino su serbatoi limitrofi

<sup>11</sup> Riduce il buckling e la sollecitazione all'interfaccia fondo-mantello

<sup>12</sup> Sono dovuti a deformazioni delle flange stesse che determinano una sollecitazione diretta contro l'involucro

<sup>13</sup> Ad esempio variazione della pressione sui sistemi DCS

---

					sistemi di shut down dimensionate per evento nateci	
Strutture	Sala controllo magazzino	Cedimenti/crolli strutturali Danni che interdicono l'accessibilità/funzionalità		Lesioni, fratture, crollo tetto	Prevenzione strutturale	

---

<sup>14</sup> Ad esempio: fluido di processo che viene riscaldato e perdita di combustibile

Tabella 10 - Quadro di sintesi delle misure di mitigazione

Misure	Misure strutturali	Misure non strutturali
Verifica dei criteri di progettazione		X
Idoneo dimensionamento di canali e muri di contenimento	X	
Dispositivi di ancoraggio di serbatoi ed apparecchiature (ad esempio catene di ancoraggio , rinforzi)	X	
Rinforzo di tubazioni e connessioni	X	
Idonea progettazione e rinforzo vasche di accumulo sostanze e preparati pericolosi	X	
Connessioni flessibili per le tubazioni		X
Cinghie di rinforzo o catene per barilotti e serbatoi a pressione		X
Cinghie di rinforzo per equipaggiamento ed attrezzature d'emergenza		X
Sistemi di intercettazione d'emergenza e valvole di sicurezza		X
Sistemi di accumulo d'acqua e di schiumogeno emergenza al sicuro da caduta di macerie		X
Sistemi di pipeline ridondanti, in particolare pipeline di adduzione acqua		X
Sistemi di allarme rapido (earlywarning)		X
Sistemi di generazione di potenza progettati per mantenere i sistemi di apparecchiature critiche relative alla sostanze pericolose in condizioni di sicurezza per tempi lunghi compatibili con gli interventi post sisma		X
Posizionamento di sostanze e preparati tra loro incompatibili, in modo da evitare che in caso di evento possano venire a contatto		X
Idonei sistemi di interruzione di processo in caso di evento		X
Pianificare una idonea comunicazione tra i lavoratori di stabilimento e i propri familiari in caso di evento		X

In ALLEGATO 2 è riportata una *Scheda speditiva di valutazione effetti Natech* su impianti RIR

*Pianificazione delle misure di mitigazione per evento NaTech per rischio tsunami su impianto RIR*

Di seguito è riportato un quadro sintetico delle misure di mitigazione su impianti RIR rispetto ai potenziale impatti connessi allo tsunami

Impatto	Misura di prevenzione (strutturale S- non strutturale NS)	Misura di protezione	Misure di mitigazione	Possibili criticità connesse alla effettiva applicazione delle misure
Impatti con eventuali attività di carico/scarico navi da pontili	Identificazione della possibile area di impatto dell'onda sull'impianto (dati di scenario necessari: altezza efficace d'onda, numero treni d'onda, tempo stimato tra segnale di allarme e impatto su impianto, velocità ed energia associata all'onda)	Distacco dispositivi di carico-scarico da pontile  Distacco e allontanamento delle navi da carico dal pontile		
	Integrazione piano di emergenza interno con <b>PROCEDURA SOTTO RIPORTATA</b> (es. con allarmi distacco dispositivi di carico - NS)	Individuazione aree di attesa personale stabilimento in zone sicure rispetto all'area di impatto dell'onda	Predisposizione adeguata procedura evacuazione in emergenza	
Impatti su impianti fissi	Identificazione punti critici dell'impianto rispetto ad area impatto onda (es. vasche direttamente collegate al mare, gruppi pompe, ecc)	Predisposizione adeguata procedura per attivazione emergenza	Predisposizione di eventuali barriere a difesa impianti fissi (es. sacchetti sabbia)	
	Verifica presenza trasformatori ed altre apparecchiature operanti ad alta tensione rispetto area impatto onda  Valutazione dei tempi di fermata e messa in sicurezza impianto (es. 15', 30', ecc)	Operazione di disconnessione e messa in sicurezza /blocco dei gruppi di potenza	Valutare conseguenze esterne sui servizi essenziali (es. black out derivante dal distacco rapido dei gruppi di potenza  Valutare coinvolgimento gestore rete esterna impianto)	Problemi e conseguenze di tipo tecnico ed economico interno/esterno impianto – necessaria adeguata valutazione per predisposizione piano
Possibilità che impianto subisca black – out da rete esterna durante la fase critica di fermata impianti	Coinvolgimento gestore rete esterna impianto per valutare procedura integrata attivazione black out da rete esterna impianto		Valutare coinvolgimento gestore rete esterna impianto	Criticità connesse alla impossibilità di effettuare le fasi critiche di messa in sicurezza impianto

Procedura per l'attivazione della messa in sicurezza d'emergenza di impianto RIR per rischio tsunami

Di seguito sono indicate alcune fasi per la possibile attuazione delle misure di messa in sicurezza d'emergenza a seguito di evento tsunami.

Fase	Attività	Evento di riferimento (altezza efficace d'onda)
1	Invio messaggio allarme da parte ::::: direttamente alla sala controllo dell'impianto :::::	
2	Codifica allertamento: 2.1) codifica del messaggio per evitare falsi allarmi 2.2) definizione delle tipologie di allertamento in funzione <u>dell'altezza dell'onda</u>	
3	Codici: <b>3.1 ) attenzione</b> - distacco dispositivi di carico/scarico navi - disancoraggio navi attraccate ai pontili	ES: Fase di <b>attenzione</b> attivata per <b>altezza d'onda efficace</b> fino a <b>3 metri</b>
	<b>3.2) preallarme</b> - distacco dispositivi di carico/scarico navi - disancoraggio navi attraccate ai pontili - avvio procedure di - avvio procedure di fermata impianti contenuti nell'area di impatto dell'onda - distacco di pompe circolazione acqua di mare - distacco trasformatori e gruppi di potenza - attivazione intervento GRTN finalizzato alla protezione da black out dei punti critici/sensibili dell'impianto - evacuazione personale in zone sicure rispetto all'area di impatto dell'onda	ES: Fase di <b>preallarme</b> attivata per <b>altezza d'onda efficace</b> da <b>3 fino a 10 metri</b>
	<b>3.3) allarme</b> - distacco dispositivi di carico/scarico navi - disancoraggio navi attraccate ai pontili - avvio procedure di - fermata e messa in sicurezza di tutti gli impianti contenuti nell'area di impatto dell'onda - attivazione intervento GRTN finalizzato alla protezione da black out dei punti critici/sensibili dell'impianto - evacuazione del personale in zone sicure	Evento catastrofico ES: Fase di <b>allarme</b> attivata per <b>altezza d'onda efficace</b> superiore a <b>10 metri</b>

### Dati di scenario minimi necessari per la pianificazione delle misure di prevenzione e protezione da tsunami su impianti RIR

I dati di scenario necessari per la definizione e predisposizione delle misure di prevenzione strutturale e non strutturale, di protezione e mitigazione dagli affetti connessi ad un'onda di tsunami, per un impianti RIR sono preferibilmente i seguenti:

- *altezza efficace d'onda*
- *numero treni d'onda*
- *tempo stimato tra segnale di allarme e impatto su impianto*
- *velocità ed energia associata all'onda*

In fase di scenario reale, è fondamentale la rapidità con la quale detti dati sono comunicati all'impianto.

### Norme di riferimento applicabili in risposta agli effetti del rischio natech-tsunami

Risultano applicabili le seguenti norme di riferimento:

- art.5 comma 5 legge 401/01 e smi (legge 100/2012)
- direttiva PCM 6 aprile 2006 (GU 87/06)
- direttiva del Capo Dipartimento PC del 2 maggio 2006 "Indicazioni per il Coordinamento operativo di emergenze dovute a : incidenti con presenza di sostanze pericolose"

In particolare, in caso di incidente , si ricade nelle attività connesse ai porti industriali e petroliferi e/o aegli stabilimenti industriali di cui all'art.4 comma 3 e all'art.8 del D.lgs. 334/99 e smi.

Per tali attività *la prima fonte della notizia* deve essere fornita da:

- autorità portuale nei porti in cui essa è istituita ai sensi dell'art.6 della legge 28 gennaio 1994 n.84 e l'autorità marittima negli altri porti (decreto 16 maggio 2001 n.293)
- il gestore dell'impianto industriale

### Possibili attività in emergenza tsunami

Uno dei possibili obiettivi è la verifica della applicazione/applicabilità degli indirizzi proposti con riferimento alla direttiva del Capo DPC del 2 maggio 2006, rispetto all'attivazione delle misure interne di messa in sicurezza dell'impianto RIR in seguito alla diramazione dell'allarme TSUNAMI. In particolare la verifica può essere effettuata in riferimento alla effettiva attivazione delle fasi previste nelle "*indicazioni operative*" che prevedono una strategia nel quadro seguente:

<b>attività prevista direttiva Capo DPC 2 maggio 2006</b>	<b>Possibili attività in emergenza tsunami</b>
<b>La comunicazione dell'evento e il flusso informativo</b>	definizione del <b>flusso di informazioni tra le sale operative territoriali e centrali</b> per assicurare l'immediata attivazione del sistema di protezione civile, <u>anche in riferimento all'attivazione dell'allarme TSUNAMI all'impianto RIR</u>
<b>L'intervento sul luogo dell'evento</b>	l'individuazione di un <b>direttore tecnico dei soccorsi</b> per il <b>coordinamento delle attività sul luogo dell'evento</b> , l'indicazione delle attività prioritarie da porre in essere in caso di emergenza e <b>l'attribuzione dei compiti alle strutture operative</b> che per prime intervengono, con <b>verifica/assistenza all'attivazione delle misure interne di messa in sicurezza dell'impianto RIR</b> (es. attivazione nuclei NBCR VVF per operazioni di messa in sicurezza)
<b>L'assistenza e l'informazione alla popolazione</b>	Nell'ambito dell'assegnazione, laddove possibile, al <b>Sindaco delle funzioni relative alla prima assistenza</b> alla popolazione e alla <b>diffusione delle informazioni, verifica delle informazioni/comunicazioni con "impianto</b>

	<i>RIR" rispetto alla evacuazione del personale</i>
<b>Il Centro di coordinamento</b>	istituzione di un <b>centro di coordinamento</b> per la gestione " <b>a regime</b> " dell'emergenza. Verifica della attività del COM a cui afferisce l'impianto RIR rispetto alle attività di <u>messa in sicurezza-gestione emergenza – continuità operativa</u> dell'impianto stesso

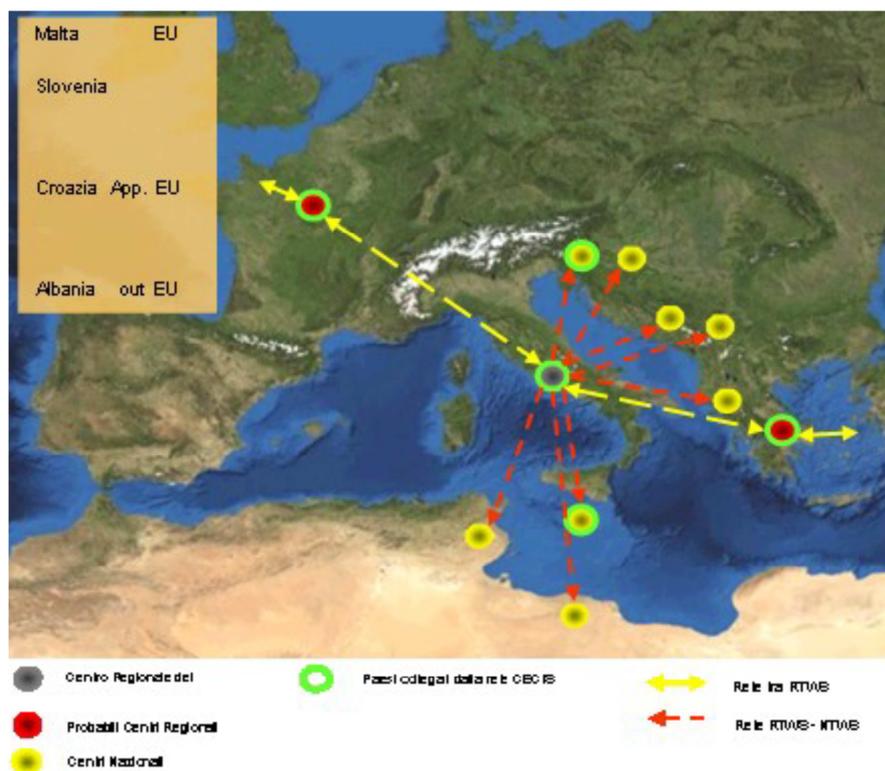
*Il progetto NEAMTWS per l'allertamento dell'area del Mediterraneo.*

Il sistema di allertamento globale. I sistemi di allertamento da rischio maremoto o *Tsunami Warning System* hanno la funzione di raccogliere, distribuire ed interpretare, in maniera continuativa, tutti i segnali sismici disponibili e i dati relativi al livello del mare per individuare l'eventuale esistenza e propagazione di un'onda di maremoto. In base alle informazioni acquisite, predispongono tempestivi e chiari avvisi di allertamento per l'area di loro competenza, condividono e scambiano dati e informazioni con altri centri di ricerca nazionali e internazionali. Il primo e unico sistema di allertamento attivato comprende l'area dell'Oceano Pacifico - *Pacific Tsunami Warning System* e costituisce il modello di riferimento in questo settore. Nato nel 1968, è coordinato dall'IOC – *Intergovernmental Oceanographic Commission*, l'ente istituito dall'Unesco nel 1960 per promuovere la cooperazione internazionale nell'ambito della ricerca e della tutela degli oceani e delle aree costiere. In seguito al maremoto del Sud-est asiatico del 26 dicembre 2004, l'IOC ha ricevuto il mandato di aiutare anche tutti gli stati membri dell'Unesco che si affacciano sull'Oceano Indiano a costituire il proprio sistema di allertamento dei maremoti (*IOTWS Indian Ocean Maremoto Early Warning System*). Ha inoltre iniziato a coordinare il processo di progressiva istituzione di analoghi sistemi di allertamento (*EWS – Early Warning System*) nei Caraibi (*Caribe EWS*) e nel Nord Est Atlantico, Mediterraneo e Mari collegati (*NEAMTWS – North Eastern Atlantic & Med Tsunami Warning System*).

Il progetto NEAMTWS per l'allertamento dell'area del Mediterraneo. Il progetto NEAMTWS prevede la costituzione di un sistema di allertamento da rischio maremoto per il Nord Est Atlantico, Mediterraneo e Mari collegati simile a quello già operante nell'area del Pacifico, dei Caraibi e dell'Oceano Indiano. Il progetto prevede che il NEAMTWS si strutturi in:

- nuove reti di monitoraggio (sismico, mareografico, onda metrico);
- una catena di allertamento composta da *National Focal Point* (NFP), Centri nazionali di allertamento (NTWC) e Centri regionali di allertamento (RTWC);
- nuove infrastrutture di allertamento e di comunicazione;
- nuove procedure per l'allertamento e la comunicazione.

Vista la complessità del progetto, l'Unesco e in particolare l'IOC ha costituito una serie di Gruppi di lavoro con il compito di affrontare tematiche diverse: valutazione del pericolo, del rischio e degli scenari; misurazioni sismiche e geofisiche; misurazioni del livello del mare; consulenza, mitigazione e consapevolezza pubblica. Nell'organizzazione del sistema, sono state invitate a partecipare le principali istituzioni competenti.



**L'Italia nel progetto NEAMTWS.** Nel 2009 il Dipartimento della Protezione Civile è stato individuato come *National Focal Point* di progetto, ovvero come punto di collegamento nella catena del sistema di allertamento tra i Centri Nazionali e i Centri regionali individuati. La sua area di competenza comprende Malta, Slovenia, Croazia, Albania, Montenegro, Bosnia, Libia e Tunisia. La proposta del Dipartimento, che è in via di attuazione, parte dagli studi di pericolosità dell'area affidata alla sua competenza - in qualità di Centro Regionale - e fa riferimento, come modello organizzativo cui ispirarsi, a quanto è attualmente operativo a scala nazionale per il monitoraggio di fenomeni di maremoto, ossia al sistema nazionale di allertamento costituito dalla rete dei centri funzionali. La proposta suggerisce l'adeguamento ed il miglioramento degli standard operativi delle reti di monitoraggio, l'adeguamento necessario delle procedure operative e la distribuzione delle informazioni raccolte ai paesi costieri del Mediterraneo Centrale secondo standard applicativi definiti nell'ambito del sistema NEAMTWS.

*Pianificazione delle misure di mitigazione per evento NaTech idrogeologico/eventi meteorologici estremi su impianti RIR*

L'esigenza di definire ed attivare misure di prevenzione non strutturale con effetto positivo sulla resilienza degli impianti RIR rispetto al rischio idrogeologico e/o connesso con eventi meteorologici estremi, deriva da considerazioni legate alla tipologia impiantistica e alla relativa localizzazione di molti di detti impianti lungo le sezioni di deflusso di importanti bacini idrografici, unitamente alla possibilità di effetti connessi all'onda di sommersione (per es: in caso di scarico di fondo) di dighe che insistono sugli stessi o sui loro affluenti. Per le considerazioni sopraesposte si rende, quindi, necessaria un'analisi delle criticità indotte da scenari di eventi idraulici sugli impianti esistenti. Obiettivi di detta analisi, comportanti la possibilità di attuare misure di prevenzione non strutturale, possono essere i seguenti:

a) valutazione dei potenziali impatti dello scenario di rischio idraulico sulle condizioni di operatività impiantistica (ad es: influenza ed effetti sulle sicurezze d'impianto e più in generale sul sistema di gestione della sicurezza rispetto alle condizioni ordinarie di conduzione dell'impianto);

b) valutazione degli effetti connessi alla indisponibilità delle reti esterne causata da rischio idraulico (es: rete viaria, rete elettrica, rete idraulica, sistema dei soccorsi esterni, ecc.), sulla gestione di eventi critici all'interno dell'impianto con pregiudizio di applicabilità del PEE;

c) valutazione della possibilità di eventi NATECH ovvero di eventi interessanti sostanze pericolose non gestibili con le condizioni ordinarie di intervento (ad es: default delle protezioni impiantistiche, dei sistemi di controllo processo, con generazione di perdite rilevanti di sostanze pericolose, ecc.)

d) valutazione di massima e stima speditiva delle misure di mitigazione di evento NATECH con particolare riferimento alle misure di prevenzione non strutturale (ad es: procedure di shut-down, procedure di messa in sicurezza rapida di impianti di processo, procedure di spiazamento sostanze pericolose rispetto a possibili eventi di tracimazione/trascinamento/rottura di relativi contenitori/piping, procedure di allertamento precoce – earlywarning per l'attivazione di procedure interne a seguito di link con Centro funzionale anche regionale) rispetto alla zonizzazione di fasce fluviali così come individuate e definite nel Piano regionale di gestione del rischio idraulico;

e) integrazione tra i sistemi di allertamento per operazioni su opere di ritenuta (dighe) e sistemi di messa in sicurezza impiantistica (d'emergenza e/o speditiva) per detti impianti.

Il decreto legge n. 59 del 15 maggio 2012 convertito dalla legge n. 100 del 12 luglio 2012, ha comportato modifiche dei termini legati alle attività di protezione civile, per cui:

**Previsione:** L'idea di previsione prevista dalla legge n. 225/1992 viene superata con l'introduzione del concetto di "identificazione degli scenari di rischio probabili". Inoltre si specifica che sono attività di previsione quelle dirette "dove possibile, al preannuncio, al monitoraggio, alla sorveglianza e alla vigilanza in tempo reale degli eventi e dei livelli di rischio attesi".

**Prevenzione.** Nella generale definizione di prevenzione prevista dalla legge n. 225/1992 – che rimane invariata – si esplicitano le singole attività volte a evitare o a ridurre al minimo la possibilità che si verifichino danni conseguenti agli eventi. Queste attività, definite "non strutturali", sono: l'allertamento, la pianificazione dell'emergenza, la formazione, la diffusione della conoscenza della protezione civile, l'informazione alla popolazione, l'applicazione della normativa tecnica e le esercitazioni.

Figura 47: schema del sistema di allertamento per rischio idraulico ed idrogeologico



In questo contesto, l'utilizzo del sistema di allertamento nazionale (rischio idraulico ed idrogeologico- schema allegato) permette di migliorare la resilienza funzionale ed organizzativa. Infatti si possono inquadrare attività connesse alla pianificazione ed alla gestione dell'emergenza, integrate con i livelli di previsione e prevenzione non strutturale, così come sinteticamente riportate nel quadro che segue:

Fasi	Attività impianto RIR
<b>pianificazione per il rischio dovuto ad eventi meteorologici estremi per gli impianti RIR:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificazione di impianti RIR rispetto alle ZONE DI ALLERTA e definizione di scenari d'impianto e rispettive soglie</li> <li>• Organizzazione di procedure interne agli impianti per l'attività di sorveglianza e monitoraggio rispetto alle soglie definite</li> <li>• Definizione dei flussi di comunicazione rispetto alla acquisizione/diramazione di bollettini e avvisi ed alla attivazione dei Centri di coordinamento (CCS, COM, COC)</li> <li>• Definizione del modello d'intervento interno/esterno rispetto agli impianti RIR (funzioni di supporto, referenti, flussi di comunicazione, risorse umane e strumentali...)</li> <li>• Definizione delle attività per le Fasi operative in caso di evento previsto e di evento in atto</li> <li>• Informazione interna sul rischio, sulle norme di comportamento e sul piano di emergenza per soglie di attivazione rispetto al rischio (es. idraulico)</li> </ul>
<b>gestione di emergenza per il rischio da evento meteorologico estremo per impianti RIR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoraggio e sorveglianza idro-pluviometrica dell'impianto RIR</li> <li>• Verifica della funzionalità dei servizi essenziali e dei processi critici d'impianto</li> <li>• Interventi di natura tecnica e opere di pronto intervento e provvisori</li> <li>• Informazione interna sul fenomeno in atto e sulla possibile evoluzione</li> </ul>

Procedura per attivazione della messa in sicurezza d'emergenza di impianto RIR per rischio idrogeologico/evento meteorologico estremo

Di seguito sono indicate alcune fasi per la possibile attuazione delle misure di messa in sicurezza d'emergenza a seguito di evento tsunami.

Fase	Attività	Evento di riferimento (intensità di precipitazione, valutazione effetti al suolo)
1	Invio messaggio allarme da parte ::::: direttamente alla sala controllo dell'impianto :::::	
2	Codifica allertamento: 2.1) codifica del messaggio per evitare falsi allarmi 2.2) definizione delle tipologie di allertamento in funzione dell'intensità di precipitazione/soglie di attivazione	
3	Codici: <b>3.1 ) attenzione</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Shut down impianti /altro da definire</li> <li>- distacco dispositivi di carico/scarico navi</li> <li>- disancoraggio navi attraccate ai pontili</li> </ul>	ES: Fase di <b>attenzione</b> attivata per <b>intensità di pioggia.../altezza idrometrica asta fluviale....dipendente da analisi PAI(soglie di attivazione fase di attenzione)</b>
	<b>3.2) preallarme</b>	ES: Fase di <b>preallarme</b> attivata

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- distacco dispositivi di carico/scarico i</li> <li>- gestione procedure di fermata impianti che possono essere critici rispetto all'evento estremo</li> <li>- distacco di pompe circolazione</li> <li>- distacco trasformatori e gruppi di potenza</li> <li>- attivazione intervento GRTN finalizzato alla protezione da black out dei punti critici/sensibili dell'impianto</li> <li>- evacuazione personale in zone sicure rispetto agli effetti dell'evento estremo</li> </ul>	<p>per <b>intensità di pioggia.../altezza idrometrica asta fluviale....dipendente da analisi PAI (soglie di attivazione fase di preallarme)</b></p>
	<p><b>3.3) allarme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- distacco dispositivi di carico/scarico</li> <li>- avvio procedure di fermata e messa in sicurezza di tutti gli impianti contenuti nell'area di impatto dell'evento idrogeologico/estremo</li> <li>- attivazione intervento GRTN finalizzato alla protezione da black out dei punti critici/sensibili dell'impianto</li> <li>- evacuazione del personale in zone sicure</li> </ul>	<p>Evento catastrofico ES: Fase di <b>allarme</b> attivata per <b>intensità di pioggia.../altezza idrometrica asta fluviale....dipendente da analisi PAI (soglie di attivazione fase di allarme)</b></p>

### ***Il monitoraggio con droni nelle emergenze connesse con gli impianti a rischio di incidente rilevante***

Il monitoraggio della propagazione delle conseguenze di un incidente rilevante nel territorio è una delle più importanti azioni, insieme alla messa in sicurezza delle persone potenzialmente coinvolte, nella gestione immediata dell'emergenza da parte della Protezione Civile e degli altri Enti interessati.

Oltre a questi eventi dannosi si affiancano anche gli incidenti catastrofici naturali, ovvero eventi non imputabili all'azione umana, come frane, terremoti e attività idrogeologiche, che possono a loro volta essere cause di incidenti rilevanti.

Al fine di determinare le azioni immediate (e critiche) per circoscrivere e contrastare le conseguenze di un incidente rilevante, il monitoraggio di una emergenza in corso include l'osservazione, l'analisi e la valutazione sulla diffusione di incendi (cause anche di possibili effetti domino fra strutture industriali contigue), della contaminazione e dell'inquinamento da parte di sostanze pericolose del suolo, delle acque e dell'atmosfera.

L'utilizzo di Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (SAPR), comunemente denominati Droni, si presta in maniera eccellente a molte delle funzioni di monitoraggio indispensabili, sia sotto l'aspetto del rilevamento visuale che sotto il profilo analitico, con l'utilizzo di sistemi di rilevamento ad analisi spettrale e laser, evitando anche di esporre a possibili rischi il personale impegnato nelle emergenze.

L'evoluzione tecnologica raggiunta consente di impostare le missioni di rilevamento direttamente da computer portatile e di ricevere direttamente, con una sicurezza di collegamento estremamente elevata ed affidabile. Il Drone (od i droni) osservatore può essere anche indirizzato manualmente su punti di preminente interesse.

Di seguito viene presentato un sistema completo (hardware e software) dedicato al monitoraggio visuale e strumentale delle conseguenze di un incidente rilevante nel territorio, supportato da criteri di valutazione pre-impostati sulla propagazione degli effetti.

Al fine di schematizzare la configurazione più appropriata dei droni e delle attrezzature di rilevazione da installare a bordo sono state preventivamente individuate le seguenti macro-attività, conseguenti allo sviluppo di incidenti rilevanti:

1. Monitoraggio di incidenti rilevanti in corso
2. Ricerca di persone disperse.

La configurazione dei droni per la macro-attività 1 è stata ulteriormente specializzata, in relazione alle seguenti diverse categorie di incidente rilevante:

- 1.1 Esplosioni o incendi
- 1.2 Rilasci di sostanze tossiche/infiammabili in aria
- 1.3 Rilasci di contaminanti o sostanze tossiche in acqua
- 1.4 Rilasci di sostanze tossiche nel terreno

Di seguito sono illustrate le diverse configurazioni di SAPR progettate per dare supporto alla gestione delle emergenze.

### *Configurazioni di SAPR per monitoraggio di incidenti rilevanti in corso*

#### Configurazione base

L'apparecchio prescelto è un drone ad ala fissa (vedi figura seguente), alimentato a batterie elettriche, particolarmente adatto a lunghe distanze di volo, grazie al consumo limitato di energia.

Il drone trasmette in continuo ad una stazione a terra (GCS, Ground Control Station) i dati della propria posizione e i dati raccolti e registrati dai sensori di rilevamento installati a bordo, che l'operatore a terra può visionare in tempo reale. Tutti i dati raccolti sono georeferenziati.

Le principali caratteristiche tecniche e di sicurezza nel volo della tipologia di velivolo prescelto sono riassunte nelle due tabelle seguenti.

*Figura 48 – Esempio di drone per monitoraggio incidenti rilevanti*



*Tabella 11: Caratteristiche tecniche principali del SAPR ad ala fissa proposto.*

<b>Descrizione</b>	<b>Valore</b>
N° rotori	1
Diametro elica	279,4 mm
Payload (carico utile) massimo	~1,6 Kg
Apertura alare	1730 mm
N° batterie	2
Autonomia (tenendo conto dei tempi necessari per garantire la sicurezza nelle fase di atterraggio)	80 minuti
Distanza massima percorribile	~110 Km
Velocità massima	~120 Km/h

Velocità operativa in efficienza massima	~93 Km/h
Capacità di resistere a venti di velocità fino a:	~50 Km/h

Tabella 12. Prestazioni di sicurezza del SAPR ad ala fissa proposto.

Descrizione	Dettagli
Possibilità di volare sia di giorno che di notte	<p>Presenza di luci di posizionamento regolamentari, in accordo con le regole dell'aviazione generale.</p> <p>Presenza di un <i>transponder</i> (Ricevitore-trasmettitore che genera un segnale in risposta ad una specifica interrogazione), che permette la localizzazione del drone in ogni condizione di luce.</p>
Capacità di evitare ostacoli	<p>Presenza di sensori di prossimità sia ottici che acustici (sonar), i quali, comunicando con il sistema di controllo, permettono la correzione automatica in altezza del percorso di volo rispetto a quello pianificato.</p>
Possibilità di volo a controllo manuale da parte del pilota a terra	<p>Presenza di una stazione a terra (GCS, Ground Control Station) munita di cloche, manetta e pedali digitali, come in ogni aeromobile, tramite la quale è possibile l'intervento dell'uomo in qualsiasi momento. Il pilota, in caso di anomalia, prende il controllo dell'APR e riporta il velivolo in sicurezza.</p>
In caso di necessità, rientro automatico a terra in condizioni di sicurezza	<p>Presenza di un Terminatore di volo (dispositivo che blocca l'erogazione dell'alimentazione al motore), in accordo alla normativa vigente, ma con caratteristiche particolari: in previsione di sorvolo di zone con un ambiente ad elevata pericolosità, è stato previsto un sistema che, in caso di necessità, dirige il drone in una zona franca (possibilmente individuata preventivamente) dove, in completa autonomia, questo può planare ed atterrare; in caso di malfunzionamento globale grave, il sistema viene cessato e contemporaneamente viene estratto il paracadute balistico.</p>
Facilità nel trasporto e nelle procedure	<p>Velivolo scomposto in 3 pezzi facilmente montabili, per inserimento a scatto. Decollo tramite catapulta smontabile e contenibile in un case di piccole dimensioni. Atterraggio con paracadute balistico.</p>

### **Configurazione per il monitoraggio di esplosioni o incendi**

Nel caso di incendi ed esplosioni, il volo del drone deve essere pianificato tenendo conto della presenza di possibili condizioni atmosferiche critiche per correnti ascensionali e dispersione in atmosfera di materiale incombusto. La quota di volo deve essere, quindi, mantenendo sufficientemente elevata.

Di seguito le caratteristiche specifiche della configurazione proposta e delle relative potenzialità di utilizzo.

Sensori installati a bordo: fotocamera e camera termica.

Risultati ottenibili:

Visione diretta in tempo reale delle apparecchiature/sistemi direttamente coinvolti nell'evento e di quelli circostanti.

Ricostruzione georeferenziata della conformazione delle fiamme, sovrapposizione alla mappa dell'area/planimetria dell'impianto, individuazione delle apparecchiature/sistemi a rischio di effetto domino.

Studio della temperatura superficiale delle apparecchiature/sistemi esposti all'irraggiamento. Individuazione di hotspot e, grazie ad algoritmi di calcolo, determinazione del tempo di cedimento strutturale.

In caso di coinvolgimento di zone piantumate (anche esterne all'impianto), sorvolo dell'interfaccia tra le fiamme e la vegetazione, mediante opportuna programmazione del software di controllo del volo. Possibile ricostruzione previsionale dell'interfaccia tra le fiamme e la vegetazione nel tempo, anche tenendo conto del tipo e dello stato della vegetazione (es. vegetazione secca).

### ***Configurazione per il monitoraggio di rilasci di sostanze tossiche/infiammabili in aria***

Nella maggior parte dei casi la concentrazione della nube non è tale da consentirne la semplice individuazione a vista. Occorrono quindi sensori specifici, di seguito descritti.

Sensori installati a bordo: fotocamera, camera termica, misuratore di gas (preventivamente scelto in funzione degli scenari di incidente prevedibili).

Software: sistemi di simulazione delle dispersioni dei gas (ad esempio: ALOA) con all'interno dei parametri pre-impostati in base ai possibili incidenti previsti.

Risultati ottenibili:

ricostruzione approssimata della conformazione della nube, grazie al misuratore di gas e ad eventuali differenze di temperatura tra il gas e l'aria.

In caso di rilasci idrocarburici, l'individuazione della nube è ulteriormente supportata dai rilievi effettuati mediante la camera termica, dato che le sostanze idrocarburiche più comuni presentano una interazione con la zona dello spettro dell'infrarosso rilevato della camera termica.

Possibilità di "inseguimento" della nube e di individuazione della zona di rilascio, grazie al rilievo in continuo mediante la camera termica ed in combinazione con i risultati della simulazione della

dispersione dei gas. Ricostruzione delle isoplete (curve ad uguale concentrazione), a differenti intervalli di tempo, e identificazione di aree ad elevata esposizione a sostanze tossiche.

### **Configurazione per il monitoraggio di rilasci di contaminanti o sostanze tossiche in acqua**

L'utilizzo dei SAPR consente, tramite sensori appositi, di rilevare la presenza di coalescenze superficiali sulle superfici dei corpi idrici, dovute alla presenza di sostanze inquinanti. Mediante monitoraggi ripetuti nel tempo, è possibile monitorare gli effetti di possibili inquinanti presenti nelle acque, anche tramite la rilevazione di eventuali danni alla vegetazione ripariale.

Il principio di funzionamento dei sensori utilizzabili si basa sull'analisi di porzioni dello spettro della radiazione solare, riflesse dalle superfici dei corpi idrici. Le bande riflesse analizzabili e il possibile utilizzo delle informazioni associate alla radiazione riflessa sono riportate di seguito.

<b>Banda elettromagnetica</b>	<b>Utilizzo</b>
Blu (B) - nello spettro del visibile, picco massimo intorno a 470 nm	Riprese fotografiche in atmosfera. Riprese fotografiche in acque profonde
Verde (G) - nello spettro del visibile, picco massimo intorno a 560 nm	Riprese fotografiche di vegetazione. Riprese fotografiche in ambienti acquatici di media profondità
Rosso (R) – nello spettro del visibile, picco massimo intorno a 600 nm	Ripresa fotografica di manufatti. Ripresa fotografica di alcuni tipi di vegetazione. Ripresa fotografica in acque di bassa profondità.
Red-edge (RE) - tra visibile e infrarosso, 680 ÷ 730 nm, picco massimo intorno a 700 nm	Analisi dello stato di salute di alcuni tipi di vegetazione
Near InfraRed (NIR) – suddivisa in due bande: 700 ÷ 830 nm e 830 - 1000 nm	Analisi dello stato di salute della vegetazione

Esistono camere di rilevazione multispettrali, in grado di raccogliere le radiazioni riflesse in diverse bande elettromagnetiche, da un minimo di 3 (NIR-G-B) fino al massimo di 6 (NIR2-NIR1-RE-R -G-B). Il sistema usato più comunemente è la camera multispettrale a 4 bande (NIR-R-G-B).

Di seguito le caratteristiche specifiche della configurazione proposta e delle relative potenzialità di utilizzo.

Sensori installati a bordo: fotocamera, camera multispettrale a 4 bande.

Risultati ottenibili: individuazione del punto di rilascio e dell'estensione del pennacchio di inquinante, determinazione di indici specifici per l'identificazione di sostanze inquinanti nell'acqua e per il monitoraggio del livello di stress presente nella vegetazione intorno alla fonte acquatica (es. NDVI, Normalized Difference Vegetation Index).

Per rilasci in un fiume, il volo può essere pianificato per risalire la corrente dal punto di segnalazione della presenza di inquinanti fino ad incontrare il punto di rilascio.

Per rilasci lungo la costa marina, il volo può seguire la linea di costa, nelle due direzioni opposte di percorrenza.

Per rilasci in mare aperto o in un lago, può essere pianificato un volo approssimativamente circolare sullo specchio d'acqua interessato, da definire in dettaglio in funzione del caso in esame.

Software di pianificazione del volo adeguato a consentire la flessibilità necessaria per la gestione delle diverse situazioni sopra descritte.

### ***Configurazione per il monitoraggio di rilasci di sostanze tossiche nel terreno***

L'utilizzo dei droni consente di individuare, grazie all'ausilio di opportuni sensori, la presenza di pozze superficiali, di terreno imbevuto di sostanze inquinanti e di infiltrazioni nel sottosuolo. Lo studio della radiazione riflessa da parte della superficie del suolo nelle diverse bande elettromagnetiche, già descritta in precedenza, consente di determinare le variazioni nella continuità superficiale del suolo stesso permettendo, così, l'individuazione di pozze e terreni imbevuti. L'identificazione di anomalie nel sottosuolo è possibile grazie alla determinazione della distribuzione di temperatura superficiale del terreno.

Di seguito le caratteristiche specifiche della configurazione proposta e delle relative potenzialità di utilizzo.

Sensori installati a bordo: fotocamera, camera multispettrale, camera termica.

Risultati ottenibili: rilievo di fuoriuscite di sostanze pericolose, grazie alla diversità della radiazione riflessa, della temperatura e/o differenze di inerzia termica.

Rilievo di sostanze a temperatura superiore a quella del terreno, grazie alla rilevazione delle emissioni nel lontano IR (10÷12  $\mu\text{m}$ ).

Rilievo di sostanze a temperatura ambiente, grazie alla diversa inerzia termica rispetto alla radiazione solare delle matrici coinvolte e alla rilevazione delle emissioni nel lontano IR (10÷12  $\mu\text{m}$ ).

Rilievo di pozze superficiali, grazie alla differente riflettanza della superficie del suolo nelle diverse bande elettromagnetiche.

Software di "post-produzione" per la rielaborazione dei dati provenienti dalla camera multispettrale e da quella termica, per la ricerca di eventuali anomalie nel terreno e la loro georeferenziazione.

### **Configurazione di SAPR per la ricerca di persone disperse**

Il velivolo ottimale per quest'attività è il drone multicottero, velivolo la cui portanza è assicurata dalla rotazione di eliche. Diversamente dal drone ad ala fissa, questo mezzo può mantenersi in volo anche a velocità molto basse ed avvicinarsi agli obiettivi di interesse (nel caso specifico, ad esempio, macerie o strutture pericolanti). Nella scelta del multicottero occorre tener presente la necessità di bilanciare l'autonomia del mezzo, che deve essere la più elevata possibile, e la sua stabilità e sicurezza nel volo, incrementata da un maggior numero di rotori. La soluzione ottimale è il multicottero a 6 rotori

*Figura 49 – Esempio di multicottero a 6 rotori*



Le principali caratteristiche tecniche e di sicurezza nel volo della tipologia di velivolo prescelto sono riassunte nelle due tabelle seguenti.

*Tabella 13. Caratteristiche tecniche principali del SAPR ad ala rotante proposto.*

<b>Prestazioni</b>	<b>Valore</b>
N° rotori	6
Diametro eliche	406,4 mm
N° batterie	1
Autonomia in sicurezza aeronautica	~30 min
Payload (carico utile) massimo	~1 Kg
Velocità operativa	~35 Km/h
Velocità massima	~45 Km/h
Capacità di resistere a venti di velocità fino a:	~36 km /h
Materiale para-eliche	Titanio

Diametro para-eliche	457,2 mm
Waterproof	Si

Tabella 14. Prestazioni di sicurezza del SAPR ad ala rotante proposto.

Descrizione	Dettagli
Capacità di evitare ostacoli	<p>Presenza di un numero ridondante di sensori di prossimità sia ottici che acustici (sonar), per la comunicazione con il sistema di controllo e la correzione automatica in altezza della rotta.</p> <p>Eliche ottimizzate secondo profilo e dimensione, dotate di strutture para-eliche (semicerchi in materiale resistente ), che evitano il contatto delle eliche con oggetti sporgenti.</p>
Volo in condizioni atmosferiche sfavorevoli	<p>Resistenza al vento.</p> <p>Struttura waterproof.</p>
Possibilità di volo in zone classificate ATEX	Utilizzo di SAPR e strumentazione ATEX (zona 1).
Possibilità di volo a controllo manuale da parte del pilota a terra	Presenza di una stazione a terra (GCS, Ground Control Station) munita di cloche, manetta e pedali digitali, come in ogni aeromobile, tramite la quale è possibile l'intervento dell'uomo in qualsiasi momento. Il pilota, in caso di anomalia, prende il controllo dell'APR e riporta il velivolo in sicurezza.
In caso di necessità, rientro automatico a terra in condizioni di sicurezza	Presenza di un Terminatore di volo (dispositivo che blocca l'erogazione dell'alimentazione al motore), in accordo alla normativa vigente, ma con caratteristiche particolari: in previsione di sorvolo di zone con un ambiente ad elevata pericolosità, è stato previsto un sistema che, in caso di necessità, dirige il drone in una zona franca (possibilmente individuata preventivamente) dove, in completa autonomia, questo può planare ed atterrare (in aggiunta alla terminazione globale istantanea di legge).

Di seguito le caratteristiche specifiche della configurazione proposta e delle relative potenzialità di utilizzo.

Sensori installati a bordo: fotocamera, camera termica.

Risultati ottenibili: possibile individuazione di persone ed eventuali loro movimenti, sia tramite la visione diretta e la successiva rielaborazione sia tramite la rilevazione di anomalie termiche.

Possibilità di ricostruzione in tre dimensioni dell'area danneggiata e di effettuare stime per il risanamento.

## Il rischio Natech e la Direttiva inerente il "Programma nazionale di soccorso per il rischio sismico"

E' stata pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 79 del 4 aprile 2014 la Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 14 gennaio 2014 relativa al Programma nazionale di soccorso per il rischio sismico. La Direttiva fornisce - per quanto riguarda il rischio sismico - le indicazioni per la redazione della pianificazione dell'emergenza, in particolare di livello nazionale, in continuità con le indicazioni riportate nella Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 3 dicembre 2008, presupposto indispensabile per assicurare la capacità di allertamento, attivazione e intervento del Servizio nazionale della protezione civile in caso di emergenza.

Il Programma nazionale di soccorso persegue l'obiettivo del coordinamento e della direzione unitaria dell'intervento del Servizio nazionale della protezione civile, fornendo gli indirizzi per la predisposizione delle pianificazioni di emergenza, per quanto di rispettiva competenza, del Dipartimento della protezione civile e delle componenti e delle strutture operative di cui agli artt. 6 e 11 della legge 24 febbraio 1992, n. 225 e s.m.i., in particolare per il contrasto agli eventi sismici di cui all'articolo 2, comma 1, lettera c, della medesima legge. Fornisce, inoltre, le indicazioni per l'aggiornamento e la verifica della pianificazione di emergenza, anche mediante periodiche esercitazioni.

Ai fini del perseguimento degli obiettivi generali sia della pianificazione sia della gestione dell'emergenza, il metodo di lavoro da utilizzare a qualsiasi livello di competenza è quello articolato per Funzioni di supporto secondo la prassi, consuetudinaria e consolidata, ormai generalmente utilizzata nella definizione della risposta operativa in emergenza nonché nei piani di emergenza. Esso è inteso come forma organizzativa di coordinamento per obiettivi, ed è finalizzato a individuare e porre in essere le risposte operative alle diverse esigenze che si manifestano nel corso di un'emergenza. Alle attività della Funzione di supporto concorrono tutti i soggetti ordinariamente competenti, adeguatamente coinvolti e preparati attraverso appositi programmi di formazione ed addestramento. Tali soggetti svolgono le specifiche attività secondo le proprie competenze istituzionali e anche sulla base di eventuali accordi o intese.

Figura 50– Quadro di sintesi elementi fondamentali della direttiva sul programma nazionale di soccorso per rischio sismico

Gli elementi fondamentali della direttiva	Descrizione
La pianificazione di emergenza per il rischio sismico	La pianificazione dell'emergenza di protezione civile è un'attività di sistema, cui devono concorrere tutti i soggetti competenti, ed è su questo presupposto che la Direttiva dà indicazioni per definire i piani di emergenza ai vari livelli. L'efficacia della risposta del Sistema nazionale della protezione civile a un'emergenza, infatti, è fortemente condizionata dalla piena e completa definizione di adeguati strumenti di pianificazione comunali, intercomunali e provinciali e dalla definizione del modello d'intervento regionale. Queste pianificazioni, da un lato, devono fornire indicazioni sulle modalità di attivazione del sistema territoriale di protezione civile e, dall'altro, riportano gli elementi conoscitivi di

	base utili alla piena applicazione del modello d'intervento nazionale.
Il modo d'intervento	Il Programma nazionale di soccorso per il rischio sismico stabilisce che nei piani di emergenza deve essere definito il modello d'intervento, che riporta l'insieme delle azioni e degli elementi funzionali alla gestione operativa che consentono di fronteggiare una situazione di emergenza. Il modello d'intervento definisce ruoli e responsabilità dei vari soggetti coinvolti, con il relativo flusso delle comunicazioni, e individua anche i luoghi del coordinamento operativo. In emergenza, vista la complessità delle attività da realizzare e la numerosità dei soggetti coinvolti, il lavoro è organizzato per obiettivi assegnati alle diverse funzioni di supporto attivate nei centri di coordinamento. Tutti gli enti e le amministrazioni competenti in ordinario rispetto alle diverse tipologie di attività contribuiscono al raggiungimento di questi obiettivi. L'attivazione delle funzioni di supporto è comunque flessibile e variabile a seconda delle caratteristiche dell'evento.
I Piani nazionali	<p>La Direttiva introduce per la prima volta la definizione dei Piani per l'attuazione delle misure di emergenza o Piani nazionali (art. 5, comma 2 della legge n. 401/2001), da redigere su scala regionale, e composti da una prima parte descrittiva sulla struttura organizzativa nazionale e da una seconda con l'organizzazione di protezione civile e gli elementi conoscitivi del territorio.</p> <p>La struttura organizzativa nazionale, articolata per funzioni di supporto, è indipendente dalla localizzazione dell'evento e individua gli obiettivi e le azioni che vengono realizzate, in caso di emergenze nazionali, dal Comitato operativo della protezione civile e dalla Direzione di Comando e Controllo. L'organizzazione di protezione civile e gli elementi conoscitivi del territorio di una determinata regione, invece, sono definiti in base alle informazioni fornite dalle Regioni e dalle Province Autonome al Dipartimento della Protezione Civile, e che sono contenute nei piani di emergenza regionali e provinciali. Gli elementi contenuti nella seconda parte dei Piani nazionali permettono di perseguire gli obiettivi riportati nella struttura organizzativa nazionale.</p>
I Piani di settore delle componenti e delle strutture operative	La Direttiva stabilisce che le componenti e le strutture operative devono predisporre pianificazioni di settore che consentano l'integrazione del proprio modello organizzativo per l'intervento in caso di emergenza di protezione civile, con le attivazioni dei livelli nazionale e territoriali, nel rispetto dell'organizzazione interna e della propria catena di comando e controllo.
La verifica dei Piani, la formazione e la comunicazione	Il Programma nazionale di soccorso fornisce indicazioni per aggiornare e verificare i piani di emergenza, anche attraverso periodiche esercitazioni e prevede che vengano promossi percorsi formativi per gli operatori chiamati a partecipare alla redazione e all'attuazione dei piani, nonché iniziative e percorsi educativi sulla cultura di protezione civile, soprattutto per supportare i Sindaci nella comunicazione ai cittadini dei contenuti dei piani di emergenza.

Integrando le disposizioni della Direttiva del PCM 3 dicembre 2008, individua gli obiettivi e le azioni finalizzate a garantire il coordinamento e la direzione unitaria dell'intervento del SNPC a supporto ed integrazione della risposta "spontanea" ed immediata posta in essere dai sistemi locali di protezione civile, sulla base delle relative pianificazioni d'emergenza:

- prescinde da un singolo e puntuale scenario d'evento, in modo da garantire adattabilità e flessibilità d'azione, quale che sia la situazione contingente derivante

dall'evento stesso e dal suo impatto sul territorio. Si prende a riferimento la pericolosità del territorio

- individua gli obiettivi e le azioni finalizzate a garantire il coordinamento e la direzione unitaria dell'intervento del Servizio nazionale della protezione civile
- garantisce il supporto e l'integrazione della risposta "spontanea" ed immediata posta in essere dai sistemi locali di protezione civile, sulla base delle relative pianificazioni d'emergenza, di livello territoriale
- non è limitato all'ambito delle attività di soccorso, bensì, in accordo con il disposto dell'art. 5, comma della L. 225/92, fornisce anche linee d'indirizzo per l'assistenza alla popolazione, le attività urgenti di messa in sicurezza e di ripristino delle infrastrutture e delle reti.

### **La struttura organizzativa nazionale**

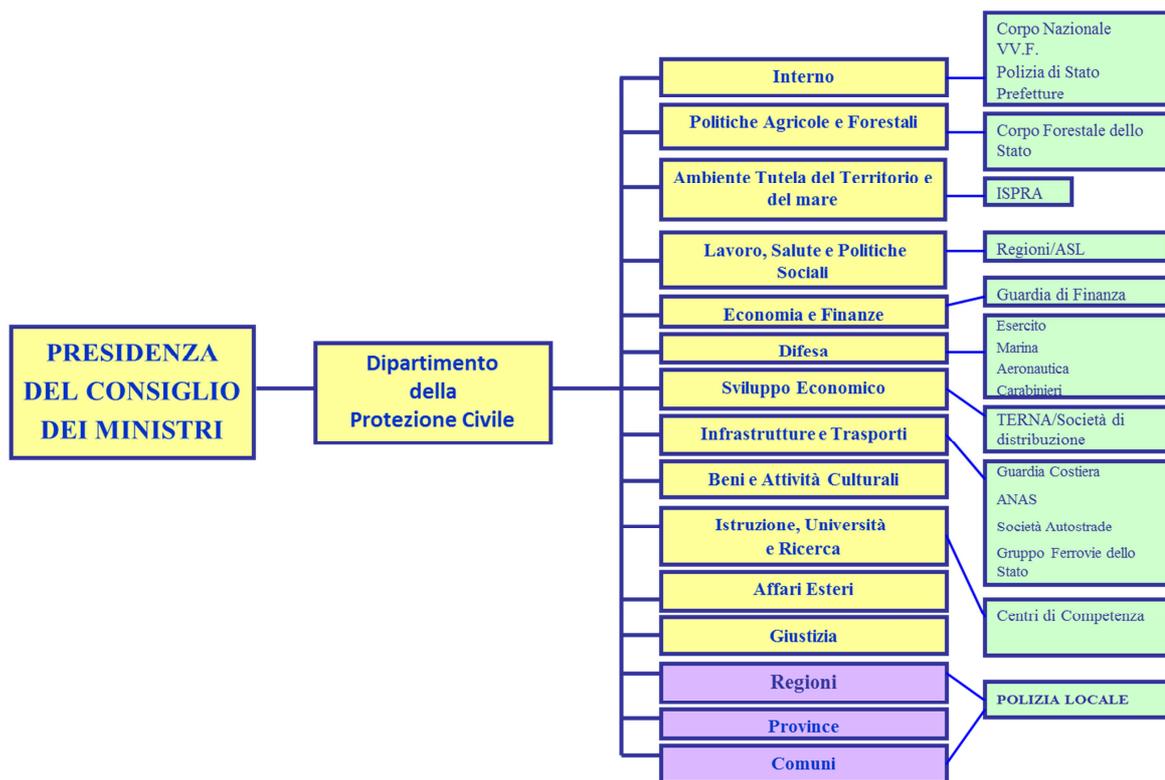
Il modello organizzativo per la risposta ad eventi sismici aventi caratteristiche di cui all'articolo 2, comma 1, lettera c, della legge 24 febbraio 1992, n. 225 prevede che l'intervento, immediato, di primo soccorso e di assistenza, posto in essere dalle strutture territoriali di protezione civile, previsto dalle relative pianificazioni d'emergenza, sia affiancato e integrato, sulla base dello scenario di danno e delle esigenze specifiche evidenziate sul territorio, attraverso il dispiegamento di risorse umane e strumentali aggiuntive da parte delle componenti e delle strutture operative della protezione civile di cui agli articoli 6 e 11 della medesima legge, sotto un'unica direzione e un unico coordinamento d'azione.

Durante la fase emergenziale, tali componenti e strutture operative svolgono le specifiche attività secondo le proprie competenze istituzionali e anche sulla base di eventuali accordi o intese.

A livello centrale, il coordinamento e la direzione unitaria delle attività in emergenza sono assicurati dal Comitato operativo della protezione civile, che stabilisce gli interventi delle Amministrazioni e degli Enti interessati al soccorso, come previsto dall'articolo 10 della legge 24 febbraio 1992, n. 225 e dall'articolo 5, comma 3-ter, del decreto-legge 7 novembre 2001, n. 343, convertito, con modificazioni, dalla legge 9 novembre 2001, n. 401.

Nello schema che segue è riportato un quadro delle componenti del Sistema nazionale della protezione civile.

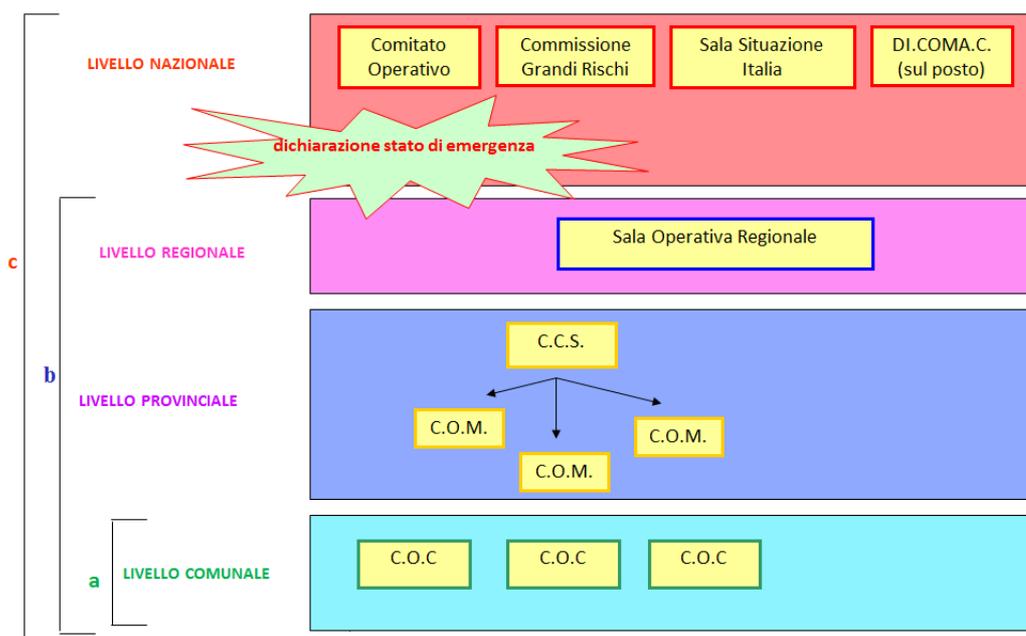
*Figura 51: quadro delle componenti del Sistema Nazionale di protezione civile*



Qualora si rendesse necessaria l'istituzione in loco di una struttura di coordinamento nazionale per la gestione dell'emergenza, il coordinamento e la direzione unitaria saranno garantiti dalla Direzione di Comando e Controllo – DI.COMA.C., che opera in continuità con le azioni del Comitato operativo.

Nella figura che segue è riportata l'organizzazione operativa del sistema di protezione civile

Figura 52: Organizzazione del sistema di protezione civile in caso di evento



Ai sensi della direttiva e del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri emanati in data 3 dicembre 2008, recanti rispettivamente "indirizzi operativi per la gestione delle emergenze" e "organizzazione e funzionamento di SISTEMA presso la Sala Situazione Italia del Dipartimento della protezione civile", il Dipartimento della protezione civile assicura, in caso di necessità, l'allertamento e l'attivazione del Servizio nazionale della protezione civile attraverso SISTEMA, centro di coordinamento attivo 24 ore su 24 tutti i giorni dell'anno, presso cui sono presenti stabilmente i rappresentanti delle strutture operative nazionali (Vigili del Fuoco, Polizia di Stato, Guardia di Finanza, Corpo Forestale dello Stato, Arma dei Carabinieri, Capitanerie di Porto, Comando Operativo di Vertice Interforze, Croce Rossa Italiana), che raccoglie, verifica e diffonde le informazioni inerenti gli eventi emergenziali di protezione civile.

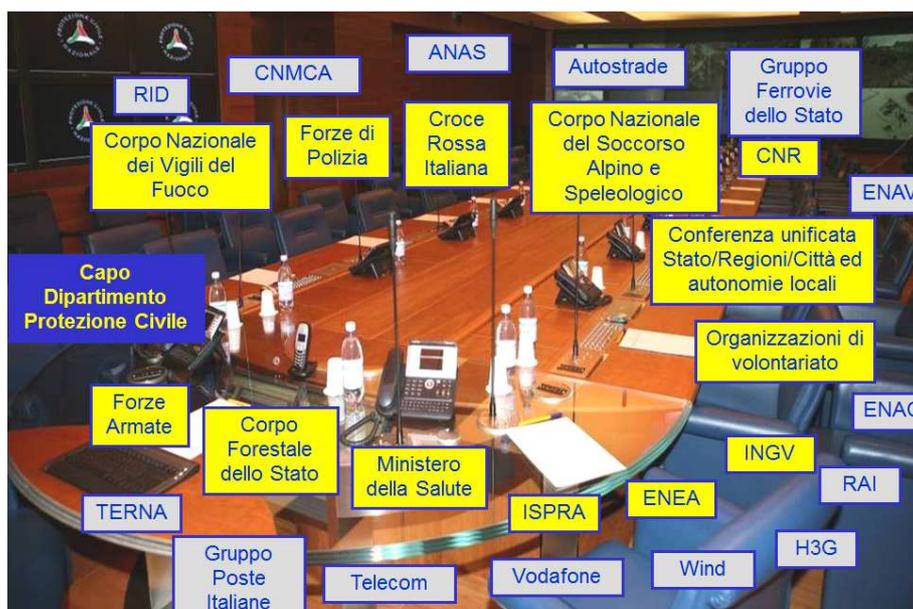
Il Capo del Dipartimento della protezione civile, per l'attuazione delle strategie operative definite sia in sede di Comitato operativo sia di DI.COMA.C., laddove istituita, si avvale delle componenti e delle strutture operative nazionali, attivate per garantire l'integrazione delle risorse operanti a livello territoriale. Il Capo del Dipartimento, nel perseguimento di tali obiettivi, coordina l'attività delle componenti e delle strutture operative nazionali impartendo specifiche disposizioni operative. Altresì, al verificarsi di una situazione emergenziale eccezionale, da valutarsi in relazione al grave rischio di compromissione dell'integrità della vita, il Presidente del Consiglio dei Ministri, su proposta del Capo del Dipartimento della protezione civile e sentito il Presidente della regione interessata, può disporre il coinvolgimento delle Strutture operative nazionali, ancor prima della dichiarazione dello stato di emergenza, ai sensi dell'articolo 3 del decreto-legge 4 novembre 2002, n. 245, convertito in legge 27 dicembre 2002, n. 286, affidandone il coordinamento allo stesso Capo del Dipartimento della protezione civile.

### ***Comitato operativo della protezione civile***

Il Comitato operativo della protezione civile, istituito dall'articolo 10 della legge 24 febbraio 1992, n. 225, garantisce ai sensi del comma 3-ter dell'articolo 5 del decreto-legge 7 novembre 2001, n. 343, convertito, con modificazioni, dalla legge 9 novembre 2001, n. 401, la direzione unitaria e il coordinamento delle attività di emergenza, stabilendo gli interventi di tutte le Amministrazioni e degli Enti interessati al soccorso, in caso di evento di rilevanza nazionale. Il Comitato operativo si riunisce presso il Dipartimento della protezione civile ed è presieduto dal Capo del medesimo Dipartimento; composizione e norme di funzionamento sono regolate con apposito decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, tenuto conto delle prescrizioni di cui al citato comma.

Nella figura che segue è riportata la configurazione del Comitato Operativo della protezione civile.

*Figura 53: Organizzazione del Comitato Operativo di protezione civile in caso di evento*



A supporto delle attività del Comitato operativo il Dipartimento della protezione civile, secondo procedure interne, attiva una *Unità di crisi*, organizzata per *Funzioni di supporto* che concorre:

- A) alla definizione dello scenario operativo
- B) a porre in essere le azioni per il raggiungimento degli obiettivi definiti dal Comitato operativo.

Per garantire le attività dell'Unità di crisi del Dipartimento della protezione civile ovvero di SISTEMA, le *componenti e le strutture operative* del Servizio nazionale della protezione civile convocate presso il Comitato operativo garantiscono la partecipazione di personale dedicato ad *operare nell'ambito delle funzioni di supporto attivate*.

L'assetto organizzativo, e quindi anche il numero e la tipologia delle funzioni da attivare, deve considerarsi flessibile e adattabile alle esigenze operative connesse con la situazione in atto, a seconda dell'evento. Tra le funzioni di prassi attivabili in caso di evento sismico nell'ambito della predetta Unità di crisi (tra cui: Unità di coordinamento, Funzione Assistenza alla popolazione Funzione Sanità e assistenza sociale Funzione Logistica Funzione Telecomunicazioni d'emergenza Funzione Accessibilità e mobilità Funzione Danni e Agibilità post-sisma delle Costruzioni Funzione Tecnica e di valutazione) vi è la *Funzione Rischi indotti*.

#### **Funzione Rischi indotti e Rischio Natech**

Nell'ambito di questa funzione, sono trattate le tematiche relative a possibili altri rischi conseguenti allo scuotimento e agli effetti indotti dal terremoto

La Funzione si occupa del raccordo operativo per le attività di raccolta, verifica ed analisi dei dati di carattere tecnico-scientifico relativi ai possibili altri rischi conseguenti agli effetti dello scuotimento sismico. Cura, inoltre, le previsioni meteo.

La Funzione coordina gli accertamenti tecnici per la valutazione dei rischi indotti, effettuati in collaborazione con le altre funzioni competenti, con l'Amministrazione regionale, il Distretto idrografico, con i Comuni interessati e con i Centri di Competenza del Dipartimento della Protezione Civile e con i consigli degli ordini professionali, anche per definire gli interventi di mitigazione e di ripristino, in forma integrata con la Funzione Tecnica e di Valutazione.

La raccolta dei dati di interesse tecnico-scientifico in emergenza avviene in contatto con il Centro Funzionale Centrale cui si trasferiscono, ove necessario, i dati raccolti per le successive elaborazioni.

Tra gli obiettivi principali della funzione, vi sono:

- *la valutazione delle condizioni di rischio residuo, monitoraggio e aggiornamento relativi ai dissesti idrogeologici*
- *i controlli sulle dighe*
- ***i controlli sugli stabilimenti a rischio di incidente rilevante e rischio NATECH***
- *l'attivazione piani di emergenza*

### ***Sistemi di Supporto alle decisioni in emergenza sismica: il SIGE***

SIGE è un applicativo informatico dell'Ufficio SIV che viene utilizzato nel caso si verifichi un evento sismico di magnitudo superiore a 4.6 sul territorio nazionale.

Tale applicativo, che risiede nella postazione della funzione tecnico scientifica della sala situazione Italia e nella postazione del centro funzionale sismico, consente, noti i dati epicentrali forniti dall'INGV (coordinate epicentrali e magnitudo e profondità, data e ora dell'evento) di produrre:

*Un primo scenario di scuotimento (a volte nominato scenario di evento):*

che descrive come si pensa si siano attenuate l'intensità macrosismica (MCS) ed il Picco di accelerazione (PGA) con l'aumentare della distanza dall'epicentro.

*Un primo scenario di danno:*

che fornisce una prima stima di quello che si pensa possa essere il danno strutturale subito sia dal patrimonio abitativo (abitazioni crollate, inagibili e danneggiate) che dalla popolazione (morti, feriti, illesi).

*Un quadro delle principali conoscenze territoriali:*

che fornisce le principali conoscenze sismiche dell'area coinvolta, e alcune informazioni riguardanti la popolazione, il patrimonio abitativo, le industrie soggette a notifica e i Sistemi locali del lavoro dell'area coinvolta.

Le valutazioni vengono attualmente effettuate usando come unità isosismica il comune, mediante i seguenti passi:

1. stima del campo macrosismico generato dall'evento attraverso l'uso di una correlazione magnitudo - intensità e di una formula per l'attenuazione;
2. definizione del danno strutturale atteso mediante l'incrocio delle intensità calcolate con il punto 1, delle frequenze di danno contenute nelle DPM e della consistenza del patrimonio abitativo;
3. valutazione delle perdite attese conseguenti al danno in termini di "superfici equivalenti" da ripristinare e di vite umane.

Figura 54 - Esempio di rapporto di evento sismico

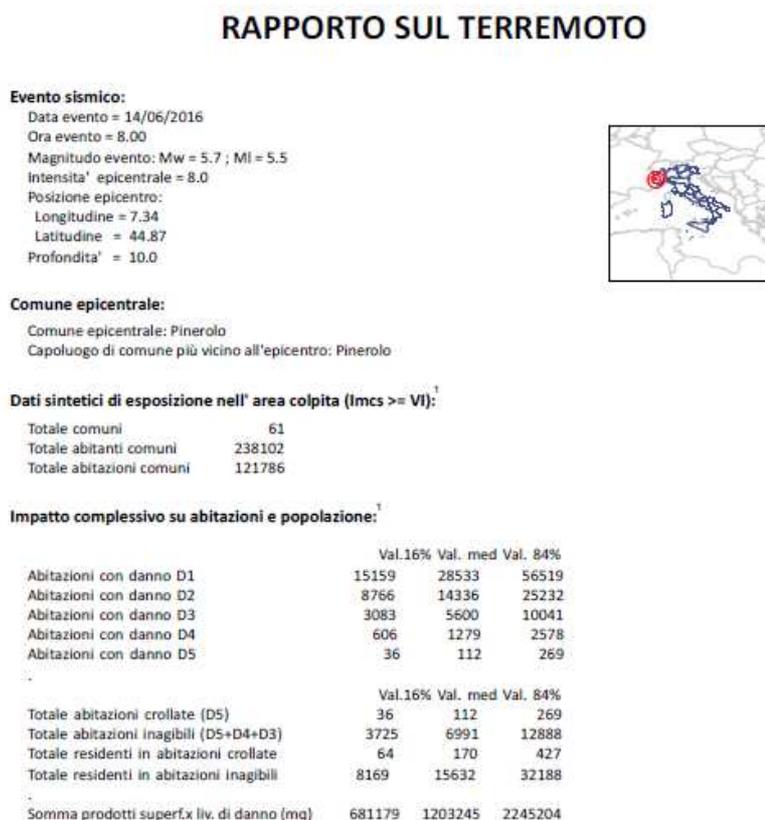


Figura 55 – Mappatura dello scenario con localizzazione dell'epicentro

Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

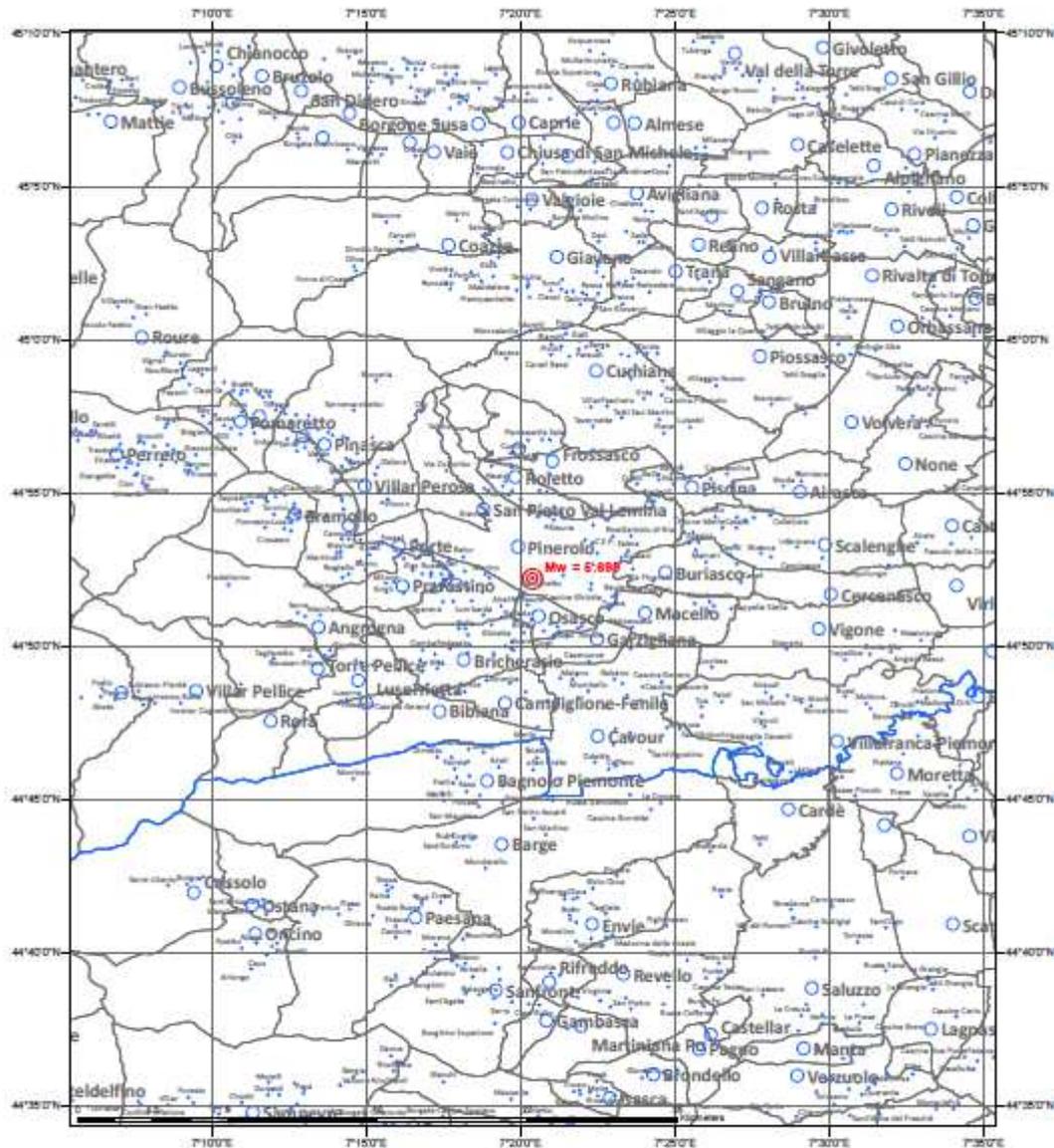


Fig.2 Scenario T = To : Comuni entro 25 Km dall'epicentro

- |   |                     |   |                    |
|---|---------------------|---|--------------------|
| ⊙ | SIGE_epicentro      | ▭ | Limiti regionali   |
| ○ | Capoluoghi comunali | ▭ | Limiti provinciali |
| • | Localita'           | ▭ | Limiti comunali    |

Un esempio di attività connessa agli eventi Natech nell'ambito della funzione rischi indotti, è la localizzazione e verifica del danneggiamento in impianti RIR nell'ambito dello scenario di evento sismico quale ad esempio quello sopra riportato.

Nell'ambito delle attività relative rischio Natech sugli impianti RIR nell'ambito della funzione rischi indotti -, sono importanti i seguenti aspetti:

- a) la verifica relativa al quadro di danneggiamento sugli stabilimenti a rischio di incidente rilevante con le Prefetture-UTG, anche a seguito del verificarsi di ulteriori successivi eventi sismici di intensità significativa
- b) il supporto in dette verifiche anche per la valutazione del rischio residuo e per la gestione delle relative attività connesse all'evento principale
- c) la verifica dell'eventuale necessità di messa in sicurezza e l'adozione delle misure di contenimento dei rischi

La pianificazione rispetto ad un evento NaTech può essere inquadrata come rischio indotto nell'ambito del Sistema di Pianificazione Nazionale e territoriale. La pianificazione di emergenza è un'attività di sistema, cui concorrono in forma coordinata e organizzata tutti i soggetti interessati, a ognuno dei quali compete la definizione, nei rispettivi ambiti territoriali e funzionali, degli strumenti organizzativi e procedurali.

La pianificazione di emergenza per una determinata area del territorio nazionale si ritiene completata solo quando tutti i soggetti istituzionalmente competenti avranno sviluppato la propria specifica pianificazione. I livelli di pianificazione sono:

- Pianificazioni di emergenza dei sistemi territoriali
- Programma nazionale di soccorso
- Piani di intervento delle strutture operative

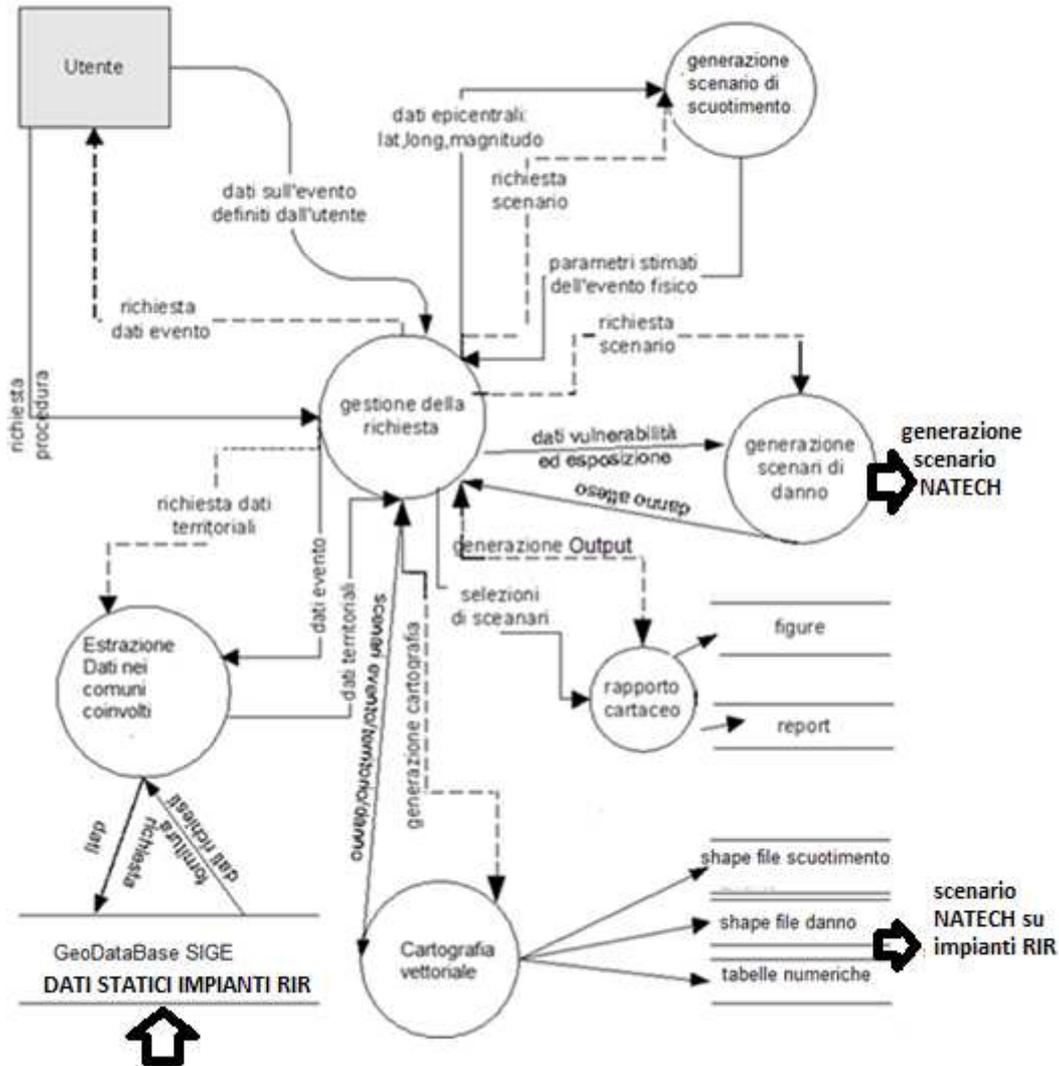
#### *Lo scenario NATECH e sua integrazione nell'applicativo per il supporto alle decisioni in caso di sisma*

La valutazione dello scenario Natech può essere inserita nell'ambito dell'applicativo per la generazione di scenari sopra descritto. Il diagramma ci illustra come le attività che stanno dietro ad una richiesta di scenario al suo espletamento, possano essere raggruppate nei cinque macro processi riportati nel quadro che segue:

Fase SIGE	Descrizione
<i>gestione della richiesta</i>	attraverso il quale il programma recepisce la richiesta dell'utente (scenario per una data coppia di coordinate e per una data magnitudo epicentrale), attiva le componenti per la generazione dello scenario di scuotimento, territoriale e di danno e quelle per la generazione degli shapefile e del rapporto cartaceo, restituisce all'utente lo scenario (figure tabelle e shapefile) e invia a SitDPC gli shapefile
<i>generazione scenario di</i>	questo processo <u>valuta</u> l'evento fisico accaduto e lo scuotimento subito: ipocentro, epicentro, magnitudo (MI e Mw), intensità epicentrale (MCS), attenuazione in intensità secondo Paolini 2008 o Gomez Caprera 2006, Intensità stimata in ciascun comune dell'area

<i>scuotimento</i>	coinvolta, attenuazione della PGA secondo Sabetta Pugliese 1998, Bindi et al 2011, Akkar-Bommer 2007, Cauzzi Faccioli 2008;
<i>estrazione dati territoriali</i>	questo processo estrae dal geodatabase SIGE le informazioni riguardanti gli Abitanti e le abitazioni nel complesso (dati istat), le Abitazioni e popolazione ripartiti per classi di vulnerabilità MSK, gli Edifici, i Beni architettonici (codice, denominazione e distanza dall'epicentro) e le industrie DL 334/99 art. 6 e art.8 (numero, ragione sociale e sostanza), ecc.
<i>generazione scenario di danno</i>	note le informazioni territoriali dell'area coinvolta e lo scenario di scuotimento, questo processo produce lo scenario delle conseguenze descrivendo le probabili persone coinvolte in crolli e senza tetto (valori minimi, medi e massimi stimati) e le probabili abitazioni con crolli, inagibili, danneggiate e sane (valori minimi, medi e massimi stimati assoluti e percentuali)
<i>Cartografie vettoriali</i>	genera gli shape file degli scenari di scuotimento, di danno e per alcune informazioni territoriali
<i>rapporto cartaceo</i>	questo processo genera il rapporto cartaceo (le figure e le tabelle in formato pdf),

Il diagramma che segue illustra come è possibile integrare lo scenario Natech nell'ambito del sistema di supporto alle decisioni che genera scenari di rischio sismico.



## Caso di studio sulla prevenzione rispetto ad evento Natech

Nel seguito è rappresentato un caso di studio rispetto alle tematiche di analisi di rischio ed attuazione delle misure di prevenzione e protezione da rischio Natech.

### *Analisi del rischio Natech nell'area dello stabilimento*

Andiamo ora ad analizzare i rischi naturali presenti, con particolare attenzione al territorio di Spoleto dove è ubicata l'Azienda. Per quanto riguarda il rischio sismico, non essendo un rischio prevedibile, attraverso i dati storici raccolti dall'osservatorio sismico BINA di Perugia dal 1200, si è tentato di ricavare una frequenza di accadimento di eventi sismici, in grado di danneggiare

strutture non antisismiche, per avere un dato (anche se approssimativo) da utilizzare nella stima dei rischi NA-TECH.

Secondo la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (scala dell'intensità degli effetti di un terremoto) il verificarsi un sisma di grado VII indica un avvenuto danneggiamento delle strutture non antisismiche ed è in grado di far cadere fusti contenenti sostanze pericolose impilati su più livelli e contenitori come quelli presenti nell'Azienda oggetto della nostra analisi.

Tutti i terremoti con grado medio pari o superiore a MCS VII riportati nell'archivio storico dell'osservatorio sismico BINA sono stati quindi considerati ai fini della stima delle probabilità di accadimento ottenendo, per la Città di Spoleto, una frequenza di accadimento di  $1,7 \times 10^{-2}$  occasioni/anno di sismi di grado  $\geq$  **MCS VII** (quindi in media di due o tre ordini di grandezza superiore alla frequenza di solito ottenuta per il verificarsi di scenari di incidente industriale).

Per quanto riguarda il rischio di alluvioni è invece necessario tenere conto dell'ubicazione dello stabilimento oggetto dello studio, per fare poi una distinzione delle zone attraverso l'analisi delle mappe di allagabilità redatte dalla Regione che riportano le aree alluvionabili con i diversi tempi di ritorno che vanno da 50 a 500 anni.

Trasformando il tempo di ritorno di 500 anni in occasioni/anno avremmo una frequenza di accadimento di  $2 \times 10^{-3}$  ma lo stabilimento, secondo le mappe (vedi Fig.56), non è soggetto al rischio di alluvioni quindi tale rischio non lo consideriamo ai fini del nostro studio.

Fig. 56 - Rischio Alluvioni per l'area di Spoleto, zona stabilimento caso di studio



Gli scenari previsti dall'Azienda nel Rapporto di Sicurezza 2011 non contemplavano rischi derivanti da eventi NA-TECH, quindi gli è stato richiesto di analizzare le possibili conseguenze di terremoti ed alluvioni in termini di incidenti rilevanti (in pratica veniva richiesto il cosiddetto che cosa accadrebbe se...).

L'Azienda aveva incluso, negli incidenti di riferimento del Rapporto di Sicurezza 2011 (RdS), anche la rottura fusti di Fosforo Giallo, Pentasolfuro, Sesquisolfuro e Fosforo Rosso durante le operazioni di carico/scarico e quindi, a maggior ragione, era necessario calcolare anche il rischio di rottura di fusti a seguito di caduta degli stessi o per il crollo di strutture causate da eventi sismici violenti ritenuti possibili in tale area, essendo la stessa classificata dall'O.P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006 come Zona Sismica 1 (la più pericolosa) con accelerazioni sismiche in grado di provocare tali effetti.

### ***Gli interventi di prevenzione e protezione proposti e realizzati***

In questo contesto, a seguito dello studio delle soluzioni possibili, l'Azienda ha proposto sistemi ed opere di prevenzione che hanno trovato il consenso del C.T.R. il quale ha autorizzato l'esecuzione degli interventi previsti anticipando in tal senso quello che poi le verrà richiesto a seguito del rinnovo del RdS da effettuarsi entro giugno 2016, in modo da rispettare le richieste del nuovo D.Lgs. 105/2015

Ora entriamo nel dettaglio dello studio prodotto dall'Azienda: Sulla base del rischio sismico, calcolato prendendo a riferimento le accelerazioni sismiche previste in Zona sismica 1, l'Azienda ha ritenuto necessario progettare sistemi di ancoraggio dei fusti attraverso l'utilizzo di cinghie mobili di ritenuta (vedi foto 57 e 58 della pagina seguente), opere di miglioramento sismico per mitigare i possibili rischi NA-TECH individuati (vedi figura 59 e 60) e l'installazione di un sistema di rilevazione sismica collegata ad un allarme per l'evacuazione del personale (vedi figura 61, 62, 63).

In particolare, come scenari aggiuntivi NA-TECH rispetto al RdS edizione 2011, l'Azienda ha considerato la caduta a terra dei fusti di sostanze pericolose, con conseguenti rotture capaci di generare un incidente rilevante e il crollo di strutture capaci di danneggiare i fusti e causare un incidente rilevante a seguito di danneggiamento e fuoriuscita di sostanze pericolose.

Le opere di prevenzione dei rischi e i sistemi proposti sono stati quindi accettati come validi dal C.T.R. e in seguito realizzati dall'Azienda come è possibile verificare nelle foto che seguono.

*Figura 57: sistema ancoraggio fusti*



*Figura 58: nuovi sistemi di ancoraggio dei fusti di fosforo giallo*



Figura 59: Lavori di adeguamento sismico degli edifici dei reparti pentasolfuro, sesquisolfuro e centrale termica



Figura 60: Lavori di adeguamento sismico degli edifici dei reparti pentasolfuro, sesquisolfuro e centrale termica

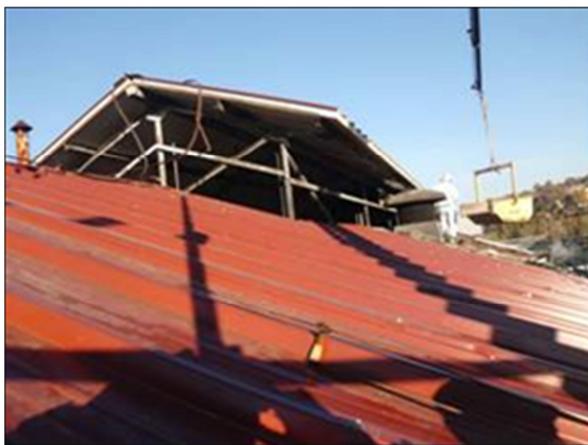


Figura 61: sistema di rilevazione sismica: pozzetto rilevatore (Fonte: Italmatch Chemicals S.p.A.)



Figura 62: sistema di rilevazione sismica: centralina acquisizione dati (Fonte: Italmatch Chemicals S.p.A.)



Figura 63: sistema di rilevazione sismica: centralina allarmi (Fonte: Italmatch Chemicals S.p.A.)



Nell'individuazione dei rischi sono state analizzate e prese in considerazione anche le modalità di stoccaggio e conservazione indicate nelle schede di sicurezza delle sostanze e miscele pericolose presenti e anche in questo caso, l'Azienda ha provveduto a progettare opere in grado di garantire le corrette condizioni di sicurezza per lo stoccaggio e la conservazione delle sostanze pericolose detenute all'interno dello Stabilimento, mitigando anche in questo caso i rischi per un certo senso di natura NA-TECH dovuti all'eccessivo riscaldamento dei fusti dovuta ai raggi solari diretti, specialmente durante l'estate.

L'Azienda ha infatti utilizzato teli ombreggianti per la copertura dei depositi di fusti posti all'esterno per ridurre il riscaldamento dei fusti ad opera dei raggi solari. (vedi figura 57 e 58).

## Aspetti da sviluppare e migliorare rispetto alla gestione del rischio Natech

Questo studio vuole essere solo un contributo di sistematizzazione delle conoscenze che possono permettere di attuare le fasi di previsione, prevenzione, pianificazione, gestione e superamento dell'emergenza rispetto agli eventi Natech. Il percorso svolto ha permesso di evidenziare diversi aspetti su cui ancora rimane da lavorare nell'ambito delle misure di prevenzione e mitigazione del rischio natech su impianti RIR. Di seguito se ne possono declinare solo alcuni

- approfondire e codificare modalità di analisi multi rischio
- integrazione dell'analisi Natech con analisi rischio-specifiche (es. progetto MAGIC nella valutazione del rischio su territorio tsunami per impianti RIR su territorio nazionale)
- approfondire e codificare modalità di valutazione degli scenari Natech e interazione con gli elementi di compatibilità territoriale
- definizione/analisi/valutazione sistemi di early-warning (es. tsunami, rischio sismico, rischio idrogeologico ed eventi meteorologici estremi) e misure per la continuità operativa impianti RIR in grado di poter incrementare la resilienza del sistema impianto
- approfondimento degli aspetti applicativi nell'ambito delle modalità di applicazione della direttiva sul Programma Nazionale del Soccorso per rischio sismico (pianificazione rischio Natech, modello di intervento in caso di evento sismico) con particolare riferimento all'utilizzo di metodi anche speditivi di verifica ad uso di nuclei tecnici istituzionali

## Bibliografia

Atti della Giornata di studio "Sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incidente rilevante" Roma, 7 febbraio 2013 – ENEA

Earthquake damage evaluation data for California – ATC13 – Applied Technology Council - Federal Emergency Management Agency

Management of Natural and Technological Hazards – European Commission – JRC project PA n.26/2003

Anakysis of Natech (Natural hazard triggering technological disaster) disaster management – NEDIES – Ispra/2003

Valutazione dell'impatto sull'ambiente degli incidenti rilevanti – APAT 2003

Criteri ed indirizzi tecnico-operativi per la valutazione delle analisi degli incidenti rilevanti con conseguenze per l'ambiente" (ISPRA , 2003)

Federici B. Bacino F. - Cosso T. - Poggi P. - Rebaudengo Lando' - Sguerso D., Analisi del rischio tsunami applicata ad un tratto della costa Ligure, Atti del VII Meeting degli utenti italiani di GRASS, 2006

Lorito S., Tiberti M.M., Basili R., Piatanesi A. and Valensise G.: 2008) - Earthquake-generated tsunamis in the Mediterranean Sea: scenarios of potential threats to Southern Italy. J. Geophys Res., 113, B01301

Sevkal, N. (2001). "An Overview of Turkey's Urbanization." In Lovatt, D. (Editor), Turkey Since 1970: Politics, Economics and Society , Palgrave

Eurocodice 8: Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle Strutture UNI ENV 1998-4 (2000)

Documento di progetto esercitazione Tidal Wave In South Tirrenian sea 2011 – Dipartimento della Protezione Civile

GUIDANCE ON DEVELOPING SAFETY PERFORMANCE INDICATORS related to Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response –ed. 2008

OECD Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response Guidance for Industry (including Management and Labour), Public Authorities, Communities, and other Stakeholders- OECD Environment, Health and Safety Publications Series on Chemical Accidents No. 10 - 2003

Working Group on Chemical Accidents Addendum Number 2 to the OECD Guiding Principles For Chemical Accident Prevention, Preparedness And Response (2nd Ed.) to Address Natural Hazards Triggering Technological Accidents (Natech) Final Draft 22-24 October 2014 OECD Conference Centre – OCSE

Ministero dell'Interno – Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa civile – Direzione Centrale per la Prevenzione e Sicurezza Tecnica – Linee di indirizzo per la riduzione della Vulnerabilità sismica degli impianti Antincendio

Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici – Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - 2014

Rapporto EEA "Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012" - novembre 2012

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 14 gennaio 2014 relativa al "Programma nazionale di soccorso per il rischio sismico" - Gazzetta Ufficiale n. 79 del 4 aprile 2014

Paolo Clemente "Sicurezza sismica delle strutture industriali"- 7 febbraio 2013 - ENEA

Vinicio Rossini, Piera Carli "Analisi Natech per gli impianti chimici industriali" – 7 febbraio 2013 - ENEA

Fabio Dattilo "La continuità impiantistica in caso di sisma" - 7 febbraio 2013 - ENEA

Francesco Geri "Possibili indirizzi per la pianificazione ed attuazione di misure di mitigazione in riferimento ad eventi Na-Tech su impianti RIR" - 7 febbraio 2013 - ENEA

Fabrizio Paolacci, Renato Giannini, Maurizio De Angelis, Vincenzo Ciampi - Studio sulla applicabilità dell'isolamento sismico mediante l'utilizzo di isolatori per la protezione sismica di componenti di impianti industriali situati in aree ad elevato rischio sismico - Rapporto finale delle attività'

Fabio Dattilo, Carlo Rafanelli, Paola De Nictolis, Roberto Emmanuele "Le attività a rischio di incidente rilevante in Italia" – Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco - Marzo 2013

Brunelli G. - Verifica degli effetti sismici su tubazioni di impianti industriali - Impiantistica italiana - Luglio-Agosto 2013

Brunelli G., Borgognoni F. - Verifica sismica della apparecchiature industriali di processo - Impiantistica italiana - Novembre-Dicembre 2014

Introduzione di scenari di origine naturale (sisma) nei Rapporti di Sicurezza Vincenzo Bartolozzi - Giovanni Palmieri – Seminario tecnico ISPRA-ARPA/APPA 2014

## ALLEGATI

**ALLEGATO 1 - Quadro di sintesi degli elementi d'impianto e relativi danni potenziali a seguito di evento sismico**

CLASSE DI COMPONENTI	ELEMENTI	DANNI POSSIBILI PER SISMA
<p>Contenitori snelli (apparecchiature di forma cilindrica, con un rapporto altezza/diametro piuttosto grande - tra 5 e 20 - ed anche più</p>	<p><b>Contenitori verticali ancorati</b> direttamente alla fondazione e liberi lungo l'altezza (colonne, torri e molti reattori. la massa è ben distribuita).</p> <p><b>Contenitori verticali vincolati</b>, oltre che alla base, lungo l'altezza (colonne molto snelle, es. le torce). La loro massa è dovuta interamente alla struttura, poiché contengono gas.</p> <p><b>Contenitori cilindrici orizzontali</b>, sostenuti da due o più selle poggiate sulle fondazioni (molti serbatoi sotto pressione e scambiatori di calore).</p>	<p>Crolli di ciminiera con distruzione/danneggiamento ad unità limitrofe</p> <p>cedimenti differenziali alla base delle apparecchiature di medio peso</p> <p>inclinazioni delle strutture alte</p> <p>snervamento o sfilamento dal calcestruzzo di bulloni di ancoraggio.</p> <p>fessure ed espulsioni del calcestruzzo</p> <p>scorrimenti nelle strutture non ancorate con conseguente rottura tubazioni</p>
<p>Apparecchiature tozze poste sulle fondazioni (dimensioni analoghe nelle tre direzioni e caratterizzate da masse elevate)</p>	<p><b>Grandi serbatoi</b> per il contenimento dei liquidi a pressione atmosferica, di forma cilindrica con un rapporto altezza diametro da 2 a 0.2. (fondo circolare poggiate direttamente sulle fondazioni)</p> <p><b>serbatoi snelli</b> (rapporto altezza/diametro grande) e <b>serbatoi tozzi</b>. (rapporto altezza/diametro piccolo)</p> <p><b>Grandi macchine di processo</b>, come filtri e decantatori, o apparati dinamici, quali pompe e compressori.</p>	<p>Oscillazione della massa di liquido (forze elevate sulle pareti del serbatoio, onda di "sloshing" nella parte superiore con versamento)</p> <p>danno alla base, per cedimento della saldatura tra il fondo e le pareti</p> <p>instabilità elasto-plastica delle pareti alla base "elephants foot"</p> <p>danneggiamento tetti a cono per depressione interna (rapido svuotamento, non compensato dalle valvole)</p> <p>danni alle tubazioni uscenti dai serbatoi per cedimenti del terreno</p> <p>incendio di vapori per attrito tra il tetto galleggiante e parete (per danneggiamento guarnizioni)</p>
<p>Apparecchiature tozze, poggianti su pilastri</p>	<p><b>serbatoi sferici</b> (con sostanze gassose liquefatte sotto pressione) in genere sollevati rispetto al suolo, sostenuti da un certo numero di sostegni</p>	<p>Danni serbatoi sferici a seguito collasso pilastri basamento</p>

	<p>circonferenziali, collegati alla sfera a livello dell'equatore ed irrigiditi con controventi diagonali</p> <p><b>Serbatoi cilindrici</b> per gas liquefatti a bassa temperatura; le pareti sono formate con un guscio doppio, con un'intercapedine di materiale isolante, distanziati dal suolo da corti piedistalli</p> <p><b>Forni di processo e generatori di vapore.</b> (sollevati da terra mediante due o più linee di pilastri, per la manutenzione e per il passaggio delle tubazioni)</p>	<p>Danni ai forni a cattedrale per collasso ciminiera</p> <p>Il collasso catastrofico dei forni può causare il danneggiamento o la distruzione di altre apparecchiature o linee di tubazioni</p> <p>Perdita di appoggio delle tubazioni interne (coils) che potrebbero collassare all'interno del forno causando la fuoriuscita di sostanze infiammabili</p> <p>Distacco del refrattario che potrebbe lasciare parti del mantello d'acciaio non protette, con possibile forte aumento localizzato della temperatura e conseguente perdita delle caratteristiche meccaniche.</p> <p>Danni alle giunzioni flangiate delle tubazioni esterne in ingresso e in uscita dai forni</p> <p>Comportamento <i>soft-storey</i> al piede della struttura, con possibile collasso per flessione e taglio dei pilastri di supporto</p>
Colonne (massa strutturale assai bassa rispetto alle capacità strutturali - sollecitazioni prodotte dalle azioni sismiche in genere modeste)	<b>Colonne di distillazione</b> costituite da contenitori cilindrici verticali in acciaio posti su pilastri e fondazioni in cemento armato	collasso della fondazione spesso costituita da una platea di piccole dimensioni (elevati momenti ribaltanti dovuti alla loro notevole altezza)
Tubi e sistemi di tubazioni (collegano tutti gli apparati coinvolti nel processo trasportando le sostanze liquide trattate attraverso l'impianto)	tubi di ogni specie, prevalentemente in <b>metallo</b> , ma anche in <b>ceramica</b> , <b>vetro</b> , <b>calcestruzzo</b> , ecc., per eventuali richieste di resistenza alla corrosione	spostamenti differenziali di strutture diverse, o di parti della stessa struttura da essi collegate
Strutture di sostegno (sostengono tubazioni, scambiatori di calore, pompe, ventilatori e molti altri apparati)	in prevalenza telai in acciaio, anche irrigiditi mediante controventi	Danni per instabilità elastoplastica dei controventi (es. per accelerazioni superiori a 0.4g)
Strutture portuali	Isole di attracco collegate a terra da pontili che sostengono le tubazioni in cui viene pompato il petrolio	Cedimento delle flange di collegamento tra telaio ed elementi supportati
		cedimento dei pali di sostegno della banchina

Effetti su apparecchiature meccaniche	<p>Apparecchiature meccaniche attive: pompe, ventilatori, compressori, valvole azionate da sistema pneumatico e motorizzato, generatori diesel, generatori di turbine a vapore.</p> <p>Apparecchiature meccaniche passive: boilers, riscaldatori dell'acqua di alimentazione, filtri, schermi, demineralizzatori.</p>	Possibili perdite dalle tubazioni di collegamento delle apparecchiature meccaniche sia attive che passive
Effetti su controlli e strumentazioni	<p>sistemi di controllo digitale</p> <p>sistemi di controllo analogici</p>	<p>Sistemi di controllo digitale: danni fisici alle apparecchiature di controllo e strumentazione</p> <p>Sistemi di controllo analogici: oltre ai danni fisici si aggiungono potenziali malfunzionamenti o blocchi (lockout) del software</p>
Effetti su impianti e apparecchiature elettriche	<p>Rete elettrica</p> <p>trasformatori di alimentazione</p> <p>quadri di manovra</p> <p>motori elettrici</p> <p>batterie per l'alimentazione di continuità</p> <p>lampade pesanti</p>	<p>fuori uso dei servizi essenziali; pericoli per le persone dovuti a contatti diretti ed indiretti; ostacoli per i soccorsi dovuti alla caduta di armadi, quadri,</p> <p>condotti o centri luminosi; arresto degli ascensori</p> <p>danni ai trasformatori ed ai motori se non ancorati (elevata massa)</p> <p>danni ai quadri di manovra se non ancorati alle strutture portanti o se ancorati a pannelli non strutturali</p> <p>danni alle cose per incendi; esplosioni.</p>
Impianti antincendio	<p>impianti antincendio (idrico, sprinkler a umido e a secco, fisso con estinguenti gassosi),</p> <p>rivelatori di incendio</p> <p>ascensori antincendio e di soccorso</p> <p>gruppi elettrogeni</p> <p>impianti di pompaggio/adduzione di fluidi infiammabili, combustibili, comburenti</p>	<p>Mancanza di alimentazione elettrica</p> <p>rottura ancoraggio serbatoi alimentazione idrica</p> <p>rottura serbatoi alimentazione idrica</p> <p>rottura serbatoi</p> <p>rottura tubazione collegamento</p> <p>rottura ancoraggio basamento gruppi pompaggio</p> <p>rottura tubazioni di collegamento</p> <p>rottura alimentazioni combustibili gruppi elettrogeni</p>

		rottura/perdita di tenuta da tubazioni interrate e fuori terra
edifici strategici	sale controllo, edifici sede di gestione dell'emergenza, rimesse  antincendio, infermeria  (connessioni ed ancoraggi, sono stati spesso cruciali nel determinare i danni alle strutture)	perdita dell'appoggio, con conseguente caduta/scivolamento laterale delle travi (di piano e di copertura)  danni ai pilastri  collasso dei pannelli di tamponatura esterni  instabilità delle scaffalature in acciaio (magazzini intensivi)

**ALLEGATO 2 - Scheda speditiva di valutazione effetti natech per sisma su impianti RIR**

Questa scheda speditiva è un allegato al capitolo "Indicazioni di massima per la pianificazione ed attuazione di misure di mitigazione in riferimento ad evento NaTech".

No.	Item	SI	NO	NA
1	<b>Apparecchiature critiche d'impianto rispetto ai possibili effetti indotti dal sisma</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Colonne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Camini	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Reattori	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Torce	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Serbatoi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- <i>ElephantFootBuckling</i> <sup>15</sup>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- <i>Uplifting</i> <sup>16</sup>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- <i>Sloshing</i> <sup>17</sup>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- <i>Sliding</i> <sup>18</sup>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- <i>Liquefazione</i> <sup>19</sup>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Forni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Piping	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Altro (specificare)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	<b>elementi critici da monitorare e/o verificare post evento</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Assetto di colonne rispetto a tubazioni ad esse connesse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Geometria di serbatoi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Stato delle superfici (es. Interno serbatoi a tetto galleggiante)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Stato di pilastri di appoggio (ad es. di serbatoi)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Stato dei tirafondi di collegamento tra fondazioni e struttura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Stato di tubazioni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Stato di valvole	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Stato di flange	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Altro (specificare)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

<sup>15</sup>Elevate tensioni di compressione generate dal momento ribaltante possono innescare fenomeni di instabilità delle pareti del serbatoio

<sup>16</sup>Il momento ribaltante può causare un parziale sollevamento delle piastre di base: lo spostamento verticale può determinare la rottura delle pareti del serbatoio e/o la rottura delle tubazioni di ingresso-uscita

<sup>17</sup>L'oscillazione del pelo libero del liquido all'interno del serbatoio può determinare danni al tetto e/o alla parte alta delle pareti del serbatoio

<sup>18</sup>Solo per serbatoi non ancorati: lo spostamento relativo tra il serbatoio e il piano di posa può determinare la rottura delle tubazioni di ingresso-uscita

<sup>19</sup>Rapido rilascio di sostanze dovuto al totale collasso della struttura determinato dalla liquefazione del terreno

No.	Item	SI	NO	NA
3	<b>Identificazione danneggiamenti con perdita di contenimento</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<b>Apparecchiature a struttura verticale snella (colonne, reattori, camini, torri, ecc)</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- perdite di contenimento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- rilascio di sostanze infiammabili	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- rilascio di sostanze esplosive	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- rilascio di sostanze tossiche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- altro (specificare)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<b>Apparecchiature a struttura tozza poggiante al suolo (serbatoi di grandi dimensioni a tetto fisso e galleggiante)</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- perdita di contenimento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- altro (specificare)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<b>Apparecchiature a struttura tozza sostenute in elevazione da elementi discreti (sfere, forni di processo, serbatoi criogenici isolati da terra, serbatoi piezometrici)</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- Perdite di contenimento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- rilascio di sostanze infiammabili	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- rilascio di sostanze esplosive	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- rilascio di sostanze tossiche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- generazione di situazione di non controllo limiti infiammabilità/esplosività all'interno apparecchiatura (es. forno)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- variazione anomala parametri controllo processo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- altro (specificare)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<b>Piping (tubazioni, flange, valvole)</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- perdita di sostanza pericolosa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- perdita di sostanza con possibile effetto dannoso a valle (es. acqua raffreddamento)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- altro (specificare)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<b>Strutture critiche interne (es. Sala controllo, magazzino m.p., p.i., p.f., strutture impianti di processo ecc)</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- Cedimenti strutturali e/o crolli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	- Danni che interdicano l'accessibilità/funzionalità	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<b>Identificazione delle indisponibilità</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Indisponibilità energia elettrica di rete	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Indisponibilità idrica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Mancanza pressione acqua	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Danni /indisponibilità alla rete di comunicazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Danni /indisponibilità alla rete di trasporto da e per il sito d'impianto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Altro (specificare)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Per l'utilizzo della scheda speditiva di rilevamento del danno Natech su impianti RIR è anche possibile riferirsi al quadro di sintesi degli elementi d'impianto e relativi danni potenziali a seguito di evento sismico (ALLEGATO 1).