



TERMINAL GNL NEL PORTO CANALE DI CAGLIARI PROGETTO AUTORIZZATIVO

TERMINAL GNL NEL PORTO CANALE DI CAGLIARI
PROGETTO AUTORIZZATIVO



Progettazione

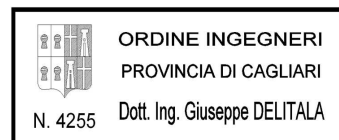
Società di ingegneria incaricata per la progettazione



COSIN S.r.l.
SOCIETÀ DI INGEGNERIA UNIPERSONALE
09134 CAGLIARI - VIA SAN TOMMASO D'AQUINO 18
Tel e fax +39 070 2346768
info@cosinsrl.it
P.IVA 03043130925

Progettista e responsabile per l'integrazione
fra le varie prestazioni specialistiche

Ing. Giuseppe Delitala



Gruppo di lavoro COSIN S.r.l.

Geologia e geotecnica

Geol. Alberto Gorini

Opere Civili

Ing. Nicola Marras

Studio di impatto ambientale

Ing. Emanuela Corona

Fotosimulazioni

Arch. Daniele Nurra

Archeologia

Archeol. Anna Luisa Sanna

Consulenze specialistiche:

Rapporto preliminare di sicurezza

Società ICARO S.r.l.

Opere antincendio

Ing. Fortunato Gangemi

Opere Marittime

Ing. Giovanni Spisso

Opere Strutturali

Ing. Francesco Fiori

Studio di impatto Acustico

Ing. Antonio Dedoni



MODULO 4 - RISCHI TECNOLOGICI CONNESSI AI FENOMENI NATURALI ANOMALI (NATECH)

7 - RAPPORTO PRELIMINARE DI SICUREZZA

NOME FILE

D_07_RI_35_NAT_R00

SCALA

CODICE
ELAB.

D 07 RI 35 NAT R00

REV. A

A	PRIMA EMISSIONE	Maggio 2017	Cherici	Delitala	Delitala
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO



Terminal GNL – Porto Canale di Cagliari

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017 (ai sensi dell'Art. 16 del D.Lgs. 105/2015)

Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I



17129_M4_Natech Rev00.docx	Maggio 2017	00	Francesco Piegai	Alessandro Cherici
Nome file	Data	Revisione	Elaborato da	Controllato da

Il presente documento è composto da una Relazione di n. **44** pagine

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

INDICE

ESTENSORE DEL DOCUMENTO	4
FINALITÀ	4
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	5
1 TORNADO	7
1.1 Generalità.....	7
1.2 Origine e geni dei tornado.....	8
1.2.1 Fenomeni temporaleschi	8
1.2.2 Genesi dei tornado.....	10
1.2.3 Vettori di impatto	11
1.3 Misura dell'intensità distruttiva di un tornado.....	11
1.3.1 La scala Enhanced Fujita	12
1.4 Previsione dei tornado	14
1.4.1 Radiosondaggio tramite pallone sonda	14
1.4.2 Indice SWEAT	15
1.4.3 Radar meteorologici.....	15
1.5 Normativa italiana.....	16
1.5.1 NTC 2008.....	16
1.5.2 CNR 2008.....	16
1.6 Normativa USA.....	17
1.7 Tornado in Italia	18
1.7.1 Tornado in Sardegna	19
1.8 Normativa di riferimento per la progettazione.....	23
2 TSUNAMI	24
2.1 Tsunami.....	24
2.2 Eventi di tsunami registrati in Italia	25
2.3 Tsunami nel mar mediterraneo	27
2.3.1 Scenari di tsunami generati da terremoti per le coste italiane del mar Mediterraneo	27
2.4 Ubicazione Progetto e protezioni naturali	29
3 SISMA	30
3.1 GENERALITÀ	30
3.2 PARAMETRI DI RIFERIMENTO	30
3.2.1 Accelerazione di Picco al suolo (PGA)	30
3.2.2 Velocità di Picco al suolo (PGV).....	31
3.3 MISURA DELL'INTENSITÀ DEL SISMA	31
3.3.1 Scala Mercalli	31
3.3.2 Scala Richter.....	32

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

3.4	Classificazione sismica del territorio	32
3.4.1	OPCM 3274/2003.....	32
3.4.2	NTC 2008.....	33
3.5	Normativa di riferimento per la progettazione.....	34
4	FRANE E ALLAGAMENTI	35
4.1	Generalità.....	35
4.2	Piano di assetto idrogeologico (PAI)	35
4.2.1	Rischio idraulico e di frana	35
4.3	Piano per la Gestione del Rischio Alluvioni	36
5	FULMINAZIONI	39
5.1	Generalità.....	39
5.1.1	Fulmini nube-suolo	40
5.1.2	Parametri principali.....	41
5.2	Frequenza fulminazioni.....	41
5.3	Sistemi di protezione e norme di riferimento.....	41
5.3.1	L.P.S. (Lightning Protection System)	41
5.3.2	Norme di riferimento	42
6	CONCLUSIONI	43
6.1	Tornado.....	43
6.2	Tsunami.....	43
6.3	Sisma	44
6.4	Frane e allagamenti.....	44
6.5	Fulminazioni.....	44

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017**Titolo:** Modulo 4 – Natech**Progetto n.** 17129I**ESTENSORE DEL DOCUMENTO**

Il presente documento è stato predisposto dal Dott. Francesco Piegai, con il supporto dello staff ICARO e con l'assistenza del personale Sardinia LNG.

FINALITÀ

Alcuni eventi naturali costituiscono una potenziale origine di incidenti industriali definiti per questo NaTech, (Natural-Technological) ad indicare la loro doppia composizione, naturale e tecnologica. Questi incidenti pongono, nelle aree soggette ad alcune tipologie di eventi naturali, un rischio addizionale, potenzialmente di rilevante entità.

Il presente documento intende valutare, sulla base di analisi storiche, norme di legge disponibili, classificazioni di legge o tecniche vigenti e bibliografia specializzata in materia, i rischi per il Terminale Costiero di ricezione, stoccaggio, vaporizzazione e distribuzione di GNL, previsto all'interno dell'area portuale di Cagliari, derivanti dalle seguenti tipologie di eventi naturali:

1. Tornado.
2. Tsunami.
3. Sisma.
4. Frane e allagamenti.
5. Fulminazioni.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

I riferimenti bibliografici che il presente studio ha preso in considerazione per gli aspetti scientifici e applicativi, in aggiunta ai testi normativi nazionali ed internazionali, sono riportati nella tabella successiva.

#	Anno	Autore	Titolo	Editore
Tornado				
1	2012	R. Edwards et al.	Tornado intensity estimation: past, present, and future	American Meteorological Society
2	2012	Neil B. Hall	Tornados, gust fronts and building damage	13th Annual Windstorm Insurance Conference
3	2011	Frank Lombardo <i>et al.</i>	Joplin Tornado Study, Briefing for NCST Advisory	Nat. Institute of Standard and Technology, 2011
4	2009	G. Formentini, <i>et al.</i>	Temporal e tornado	Alpha test
5	2007	J. V. Ramsdell, jr <i>et al.</i>	Tornado Climatology of the Contiguous United States (probabilistic hazard model)	Pacific Northwest National Laboratory
6	2007	Alexander Remennikov	The state of the art of explosive loads characterisation	University of Wollongong
7	2006	F.Gianfreda, M. Miglietta, P. Sansò	La terra degli uragani	Colibri
8	2005	Drs. P.L.B.A. van Geel	Method for the determination of possible damage	TNO - The Netherlands Organization of Applied Scientific Research
9	2004	J. McDonald <i>et al.</i>	Enhanced Fujita Scale (EF-scale)	Wind Science & Engineering Center
10	2003	Nat. Oceanic and Atm. Administration (NOAA)	A Guide to F-Scale Damage Assessment	U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE - National Weather Service (NWS)
11	2000	A. Boissonnade et al.	Development of a Probabilistic Tornado Wind Hazard Model for the Continental United States – Volume I: Main Report	US Dpt of Energy
Tsunami				
12	2008	Tiberti et al	Scenarios of earthquake-generated tsunamis for the Italian coast of the Adriatic Sea	INGV
13	2008	Lorito <i>et al.</i>	Earthquake-generated tsunamis in the Mediterranean Sea: Scenarios of potential threats to Southern Italy	INGV
14	2007	S.Tinti	I maremoti nelle coste italiane	GEOITALIA
15	2006	R.Zecchi	Distribuzione delle onde anomale nei mari italiani	AIC
Sisma				
16	2013	Cozzani <i>et al.</i>	Quantitative assessment of domino and Natech scenarios in complex industrial areas	JLP
17	2012	E.Marzo <i>et al.</i>	Sensitivity analysis of a short-cut methodology for assessing earthquake-related Na-tech risk	CET-AIDIC
18	2008	M.Campedel <i>et al.</i>	Extending the Quantitative Assessment of Industrial Risks to earthquake effects	Risk Analysisi

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

19	2008	M.S.Razzaghi <i>et al.</i>	Development of analytical fragility curves for cylindrical steel oil tanks	WCEE-World Conference on Earthquake Engineering
20	2003	FEMA	HAZUS-MH MR3 - Technical Manual	FEMA - Federal Emergency Management Agency
21	2003	E.Salzano <i>et al.</i>	Seismic risk of atmospheric storage tanks in the framework of quantitative risk analysis	JLP
22	2003	I.Iervolino	Analisi Quantitativa di Rischio Sismico nell'Industria di Processo	Università degli Studi di Napoli Federico II
Frane e Allagamenti				
23	2015	--	Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico - Perimetrazioni aree a rischio idrogeologico	Regione Sardegna
24	2015	--	Proposta di Piano di gestione del rischio di alluvioni - Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni - (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010)	Regione Sardegna
Fulminazioni				
25	2009	E. Renni <i>et al.</i>	Risk assessment of major accidents triggered by lightning	AIDIC

Altri riferimenti a norme nazionali ed internazionali ed a siti internet di interesse per lo studio sono citati direttamente nel testo.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

1 TORNADO

1.1 Generalità

Secondo il Glossario dell'American Meteorological Society (AMS 2000), un tornado è ".....una colonna d'aria in violenta rotazione pendente da un cumulonembo e quasi sempre osservabile come una nube a imbuto". Affinché un vortice sia classificato come un tornado, esso deve essere in contatto sia con il suolo che con la base del cumulonembo.

I meccanismi che portano alla formazione dei tornado sono estremamente complessi e ancora non del tutto chiariti. Possono svilupparsi quasi ovunque (fanno eccezione le regioni polari) e più o meno si presentano tutte con le stesse caratteristiche.

Le sue peculiari caratteristiche sono:

- un diametro del vortice che da poche decine di metri può superare diametri al suolo di 2,5 km;
- velocità traslazionali tra i 50 e i 100 km/h;
- venti di vortice che spirano ad alta velocità, da oltre 100 fino ad oltre 500 km/h, esercitando sulle superfici colpite pressioni dinamiche che, nel caso della massima velocità, possono raggiungere un valore dell'ordine di 1 tonnellata per metro quadrato (0,1 bar ca);
- notevole componente verticale dei venti (le correnti ascensionali possono raggiungere i 300 km/h);
- caduta di pressione che accompagna il passaggio di questi fenomeni, un vero e proprio crollo barico stimato nell'ordine degli 0,1 bar;
- creazione di "wind-borne missiles", oggetti scagliati a grandi velocità e distanze.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

1.2 Origine e genesi dei tornado

1.2.1 Fenomeni temporaleschi

Gli elementi principali necessari per lo sviluppo di un temporale sono:

- l'instabilità atmosferica ossia la tendenza dell'aria più calda a salire verso l'alto con conseguente formazione di nubi;
- l'umidità atmosferica ossia il contenuto di vapore acqueo nell'atmosfera;
- il wind shear ossia il cambiamento di intensità e direzione del vento con la quota. Determinante per la genesi di forti temporali.

Le nubi che danno origine a fenomeni temporaleschi si dividono in:

- Cumuli: tra cui cumulus humilis (i più innocui e di piccole dimensioni), c. mediocris e c. congestus (che sono i più imponenti e possono produrre precipitazioni);
- Cumulonembi: suddivisi in cumulonimbus calvus e cumulonimbus incus (cumulonembo ad incudine).

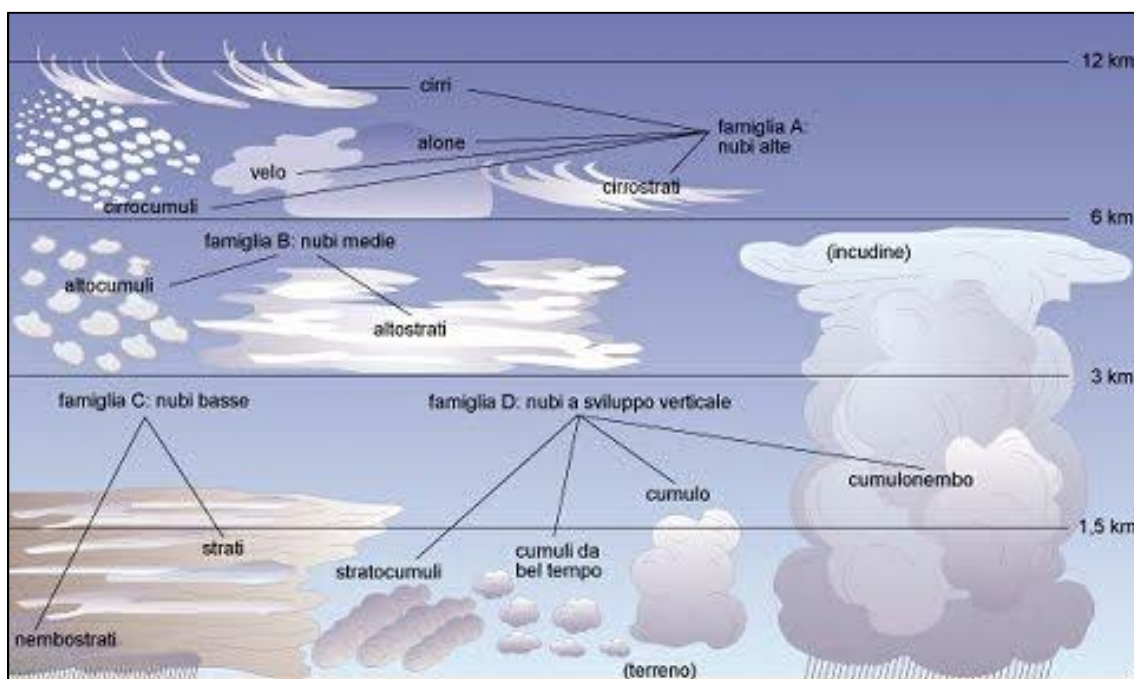


Figura 1. Struttura e caratteristiche principali delle nubi

(Fonte: <http://www.settimocielogenova.it/utility/nubi/nubi.html>)

Non tutti i fenomeni temporaleschi sono uguali, ma possono differenziarsi sia in base alla loro modalità di genesi che in base alla loro struttura.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017**Titolo:** Modulo 4 – Natech**Progetto n.** 17129I

La modalità di formazione suddivide i temporali in:

- Temporali termo convettivi: i più comuni, a carattere prettamente locale, trovano la loro origine nei moti termo convettivi che, in presenza di un adeguato contenuto di vapore, danno luogo allo sviluppo della nube temporalesca.
- Temporali orografici: generati da un iniziale sollevamento forzato di una massa d'aria costretta a scorrere lungo il pendio di un rilievo. La loro localizzazione è lungo le catene montuose dove danno luogo a forti precipitazioni e severa turbolenza.
- Temporali di avvezione convergenti: generati dalla convergenza di masse d'aria con caratteristiche diverse. Sono i tipici temporali delle zone costiere nelle ore notturne quando la differenza termica fra il mare e la terraferma è più accentuata.
- Temporali frontali: Generati dal sollevamento di masse d'aria lungo le superfici frontali.

In base alla struttura i fenomeni temporaleschi possono presentare le seguenti tipologie:

- **Cella singola:** forma più semplice di temporale, tipicamente estivo; si verifica in condizioni di umidità elevata, debole instabilità e wind-shear verticale (cambiamento di intensità e direzione del vento con la quota) molto scarso.
- **Multicella:** caratterizzati dalla presenza di una serie di correnti ascendenti pulsanti e separate (updraft), che mantengono in uno stato più o meno stazionario la forza e la struttura globale della nube temporalesca. La tipologia multicellulare è una delle più frequenti in territorio italiano. Le formazioni temporalesche a multi cella possono essere molto intense, generando anche grandine di 4-5 cm, forti raffiche di vento ed alluvioni.
- **Supercella:** si distingue dagli altri per la presenza di un updraft rotante ovvero di un mesociclone. Esclusiva delle supercelle è la formazione di una wall cloud (nube a muro o nube a parete), distinto e persistente abbassamento nuvoloso attaccato alla base di un cumulonembo individuabile mediante il classico "scalino" e può raggiungere un diametro di 8 km. La Wall cloud nasce per il fatto che la corrente discendente raffreddata all'interno del cumulonembo, invece di dilagare al suolo dietro al temporale come outflow, viene in parte richiamata all'interno del temporale stesso grazie al movimento rotatorio indotto dal mesociclone interno alla supercella.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

1.2.2 Genesi dei tornado

I meccanismi che portano alla formazione dei tornado sono estremamente complessi e ancora non del tutto chiariti. Possono svilupparsi quasi ovunque (fanno eccezione le regioni polari) e più o meno si presentano tutte con le stesse caratteristiche.

Sono noti, del resto, i requisiti fondamentali per la loro formazione, il più delle volte alla base delle supercelle, cioè la presenza di forti moti ascensionali (updraft) e di rotazione (mesociclone).

- Moti ascensionali: si formano lungo il confine di masse d'aria differenti come ad esempio lungo il fronte freddo che spinge verso l'alto l'aria più calda presente in prossimità della superficie. L'umidità presente nell'aria calda può liberare per condensazione energia aggiuntiva favorendo il sollevamento della massa d'aria.
- Moti rotazionali: venti forti in quota (correnti a getto), che possono soffiare ad oltre 160 km/h, generano uno wind-shear imprimendo una rotazione alla colonna d'aria che si solleva. La vorticità può essere formata anche da gradienti orizzontali di pressione e temperatura che poi possono venir ruotati in senso verticale dalle correnti ascendenti presenti nel temporale. La rotazione nell'emisfero boreale è in senso antiorario.
- Il tornado di solito scende dalla Wall cloud, in quanto questa altro non è che l'estremità inferiore di un pericoloso mesociclone. Va precisato però che non tutte le wall cloud ruotano e a sua volta, non tutte le wall cloud rotanti producono tornado, ma esse possono sviluppare con maggior rapidità il tornado.

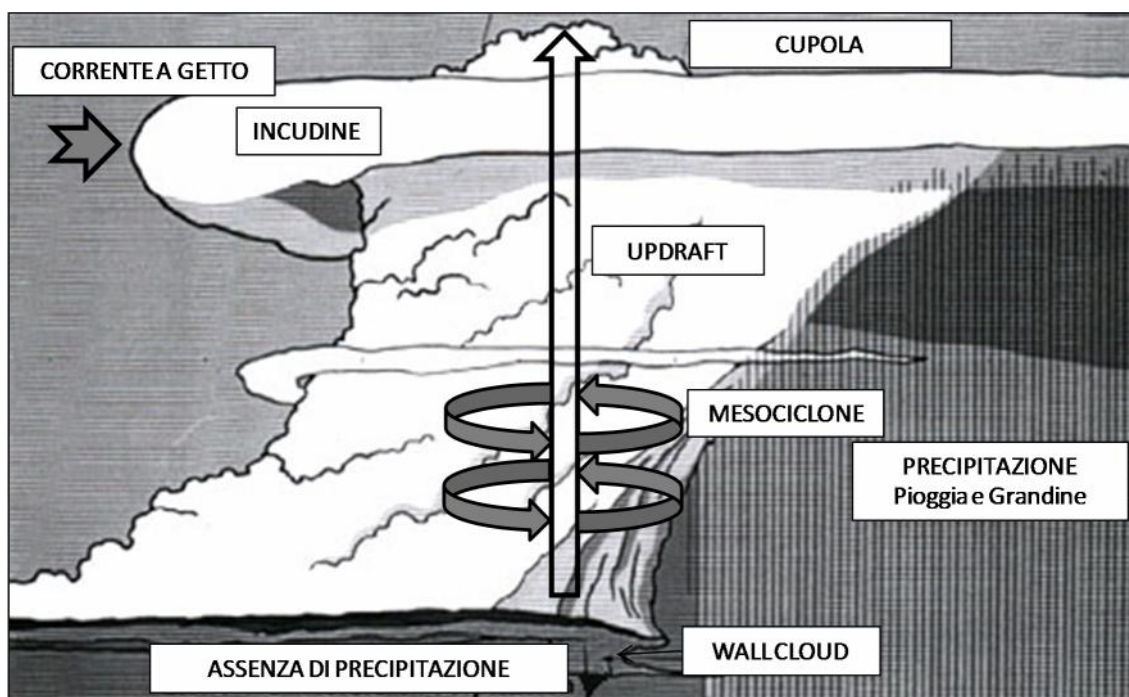


Figura 2. Struttura e caratteristiche principali di una Supercella temporalesca

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017**Titolo:** Modulo 4 – Natech**Progetto n.** 17129I

Il tornado deve avere sia connessione con la base della nube temporalesca (visibile nella quasi totalità dei casi grazie alla nube ad imbuto), che con la superficie del suolo (visibile con i detriti in rotazione a terra). Se manca il primo requisito si parla di gustnado, se manca il contatto con il suolo si parla di funnel cloud. La nube ad imbuto come già detto non necessariamente condensa fino al suolo e ciò può dipendere dalla scarsa umidità nei bassi strati oppure a volte dalla debole intensità del vortice stesso, di cui però non è sinonimo.

Oltre alla tipologia dei tornado descritta in precedenza, formati da un mesociclone di una supercella ed i soli in grado di raggiungere un'elevata magnitudo, esiste anche una tipologia di tornado non generato da mesociclone. Tali fenomeni definiti Landspout possono generarsi nell'area delle correnti ascensionali di temporali multicellulari in fase di maggiore intensità, ma anche di celle singole, o persino di supercelle laddove questo non dipenda direttamente dal mesociclone. Più deboli e brevi, possono raramente avere rotazione oraria nel nostro emisfero.

1.2.3 Vettori di impatto

I danni che un tornado può causare sono il risultato di tre tipologie principali di forze:

- Forze dovute a gradienti di pressione atmosferica.
- Forze indotte dal vento sulle superfici delle strutture esposte (pressioni positive per le superfici sopravento, pressioni negative per le superfici sottovento, pressioni negative localizzate con effetto aspirante).
- Forze indotte dagli impatti dei detriti scagliati dal vento.

In generale le conseguenze più diffuse di un tornado consistono nello scoperchiamento di edifici e capannoni, nella rottura delle vetrate delle finestre, nell'asportazione di serramenti, nel danneggiamento di strutture metalliche sviluppate in altezza quali torri, tralici e linee elettriche.

1.3 Misura dell'intensità distruttiva di un tornado

L'intensità di un tornado e la sua potenzialità di generare danni, anche distruttivi, viene in generale correlata alla velocità dei venti generati nel vortice¹.

Quasi tutte le informazioni sulle caratteristiche di un tornado si basano tuttora in prevalenza sul danno osservato, piuttosto che su misurazioni fisiche dirette, come la pressione o la velocità del vento. Dal momento che le velocità del vento non sono direttamente misurate in un tornado, i venti sono desunti dai danni osservati.

¹ Nel 1995, lo std US ASCE 7 ha cambiato la definizione della velocità del vento, dalla velocità massima per miglio (o per quarto di miglio) alla velocità della raffica di vento per 3 secondi, generalmente superiore alla prima. Questa modifica è stata fatta perché il National Weather Service (NWS), che monitora e registra le velocità del vento attraverso gli Stati Uniti, ha gradualmente eliminato le misure delle velocità del vento precedenti ed ha cominciato a registrare i 3 secondi di velocità di raffica di vento. Questo cambiamento definizione non cambia la metodologia per la definizione dei livelli di pericolo di vento e velocità associati.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017**Titolo:** Modulo 4 – Natech**Progetto n.** 17129I

Per utilizzare danni osservati o fotografati per stimare la velocità del vento, è necessario rendere concettualmente qualche stima sulla pressione del vento necessaria per causare il danno.

La velocità del vento associato potrebbe essere stimata mediante l'uso di un certo coefficiente di pressione.

Idealmente, qualsiasi rapporto tra danno e velocità del vento si basa su un procedimento razionale, che incorpora considerazione di resistenza strutturale, esposizione, tasso di carico, durata di applicazione del carico e la distribuzione della pressione del vento.

In pratica, è impossibile considerare tutte queste variabili simultaneamente o con un qualsiasi livello di certezza. Così, ogni relazione è intrinsecamente soggetta ad considerevole grado di discrezionalità.

1.3.1 La scala Enhanced Fujita

La scala Fujita dei tornado fu introdotta nel 1971 dal professor Theodore Fujita dell' università di Chicago per classificare i Tornado in base agli effetti prodotti sulle strutture, sugli edifici, sulle piante ecc. In origine era stata ideata con ben 13 livelli (F0-F12), correlandola con la scala Beaufort (della forza del vento) e la velocità del suono e ponendo il grado F12 corrispondente al numero di Mach 1.0 (velocità del suono).

Data la scarsità di informazioni sui danni causati dal vento, le velocità del vento per ogni livello erano poco più che delle ipotesi plausibili. La velocità del vento infatti sono raramente misurate con strumenti meteorologici. Esse invece sono in generale stimate dai danni associati con il tornado.

Inoltre le velocità attribuite ad ogni livello erano sovrastimate rispetto ai venti reali in grado di causare i danni descritti. Un errore che andava crescendo di categoria in categoria, palesandosi soprattutto nella fascia F3 ed F5.

Data l'impossibilità per il vento, in prossimità della superficie terrestre, di oltrepassare il limite superiore del grado F5 (512 Km/h) l'utilizzo della scala Fujita si limitava esclusivamente ai primi sei livelli (F0-F5).

Tale riclassificazione è stata quindi riformulata con l'attuale scala Enhanced Fujita (EF), in vigore negli USA (dal 2007) ed in altri Paesi, la quale si compone di 6 livelli (EF-0/EF-5) correlati con i loro rispettivi range di velocità di vento (derivati da stime e non da misure), ricorretti grazie al lavoro congiunto di meteorologi ed ingegneri.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

La Scala EF include danni che si verificano a diversi tipi di strutture, sia artificiali che naturali, ed è così ripartita:

Grado	Velocità del vento (stimata)		Danni potenziali
	mph	km/h	
EF0	65–85	105–137	Danni lievi: Danni ai camini; spezza i rami degli alberi; abbatte alberi con radici superficiali; danni ai cartelloni e ai segnali stradali.
EF1	86–110	138–175	Danni moderati: Stacca la superficie dei tetti; case mobili spostate dalle fondamenta o rovesciate; automobili in movimento spinte fuori strada; i garages possono essere distrutti.
EF2	111–135	176–220	Danni considerevoli. Tetti strappati dalle case; case mobili demolite; autorimesse abbattute; grossi alberi spezzati; oggetti leggeri proiettati dal vortice come missili.
EF3	136–165	221–269	Il tetto e qualche parete strappati via da case ben costruite; treni deragliati; la maggior parte degli alberi nelle aree boschive vengono sradicati; automobili sollevate da terra e trascinate.
EF4	166–200	270–320	Case ben costruite livellate; strutture con fondamenta deboli fatte volare a breve distanza; automobili scaraventate via; grandi missili vengono generati.
EF5	>200	>320	Case con armatura forte sollevate dalle fondamenta e trascinate a distanze considerevoli per disintegrarsi; missili della grandezza di automobili volano nell'aria per distanze superiori ai 100 metri; alberi scortecciati;

Tabella 1. Scala Enhanced Fujita

Questa nuova classificazione, fondata su una vasta esperienza di indagine sui danni di tali fenomeni negli Stati Uniti, è la risultante di una serie di 28 Indicatori di danno (Damage Indicators) individuati, per ciascuno dei quali sono stati messi in relazione con le diverse velocità del vento vari gradi di danno (Degree Of Damage).

I sei intervalli individuati sono poi convenzionalmente raggruppati in tre categorie:

- EF0-F1 Tornado debole;
- EF2-F3 Tornado forte;
- EF4-F5 Tornado violento.

Circa i 2/3 di tutti i tornado appartengono alla prima categoria (EF0-F1), mentre solo l'1 per cento del numero totale di tornado viene classificato come "violento" (EF4-F5).

Infatti, i tornado F4 ed F5 rappresentano, nelle zone in cui la tornadogenesi da supercella è dominante, solo l'1,5% del totale degli eventi, o anche meno. Ma, data la loro potenza e la grande area che colpiscono nella fase matura, sono responsabili del 67% del totale dei decessi.

Il grado di intensità di un tornado corrisponde a quello del danno di categoria più elevata riscontrato nell'area interessata. In un tornado i venti di intensità maggiore colpiscono zone relativamente ristrette se paragonate alla superficie totale della scia di distruzione. Quindi, ad esempio, in un tornado EF5 troveremo danni F5, F4, F3, F2, F1 e F0 riscontrabili su aree sempre più grandi al decrescere del grado di intensità nella scala.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017**Titolo:** Modulo 4 – Natech**Progetto n.** 17129I

Va notato che la velocità massima del vento associata ad un tornado si verifica per solo una piccola frazione dell'area coinvolta, in una qualsiasi posizione di passaggio, per un breve periodo di tempo. In funzione della velocità traslazionale del tornado, nella posizione di passaggio si potrebbe sperimentare una velocità del vento vicina al massimo per un tempo variabile da 5 a 10 secondi.

1.4 Previsione dei tornado

Per operare delle previsioni meteo, col progredire degli studi meteorologici, è sempre più manifesta l'esigenza di non limitarsi agli strati più bassi dell'atmosfera, ma di estenderli a quelli più alti, dove avvengono movimenti di grandi masse d'aria e di sistemi che esercitano un'influenza determinante sui fenomeni atmosferici degli strati inferiori. Si rivela quindi essenziale conoscere la temperatura dell'aria, l'umidità relativa come anche la direzione e la forza del vento, a tutti i livelli compresi tra la superficie del suolo e un'altitudine di circa 15.000 m. Tali informazioni possono essere misurate da aerei di linea dotati di strumenti adeguati, ma si utilizzano soprattutto:

- Radiosondaggio tramite palloni sonda;
- Radar meteorologici.

1.4.1 Radiosondaggio tramite pallone sonda

Palloni sonda, particolari palloni aerostatici, con a bordo degli strumenti di misura meteorologici, ritrasmettono per radio le informazioni atmosferiche di pressione, temperatura, umidità relativa (simbolizzati dalle lettere P, T, U).

La forza e la direzione del vento sono dedotte dalla dislocazione della radiosonda, cosa che può essere misurata in diversi modi tra cui GPS, LORAN-C e radar. Al suolo, una stazione di ricezione/decodifica capta il segnale dell'emittitore tramite il linguaggio codificato TEMP e decodifica le informazioni trasmesse riportandole in diagrammi termodinamici che forniscono una notevole quantità di dati sulla struttura verticale dell'atmosfera al momento dell'osservazione.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

1.4.2 Indice SWEAT

Esistono vari indici di stabilità atmosferica utilizzati per la previsione di eventi temporaleschi che potrebbero portare alla formazione di tornado tra i quali l'indice SWEAT² (Severe Weather Threat). Sviluppato negli Stati Uniti dopo aver analizzato un consistente numero di tornado, tale indice ha mostrato un'ottima capacità nell'individuare situazioni favorevoli allo sviluppo del fenomeno.

I dati di input per il calcolo dell'indice sono ricavabili dal messaggio TEMP del radiosondaggio ed i valori di output sono inquadrabili in cinque categorie così rappresentate:

Valore Indice SWEAT	Rischio formazione Tornado
< 270	Sfavorevole
270 - 300	Debole rischio
300 - 400	Rischio moderato (potenziale per temporali forti)
400 - 600	Rischio forte (potenziale per i tornado)
601 - 800	Rischio alto

Tabella 2. Indice SWEAT

Valori compresi tra 250 e 300 possono dar luogo, se è in atto un forte sollevamento, ad intense manifestazioni temporalesche. Quando l'indice uguaglia o supera il valore di 400, vi sono altissime probabilità che si sviluppi un tornado (valore di allerta negli USA).

In Italia la maggior frequenza degli eventi è compresa tra i 100 e i 300, a conferma del fatto che questi fenomeni hanno dimensioni e intensità minori e modalità di formazione per lo più non associate a supercelle. L'esame dei radiosondaggi e degli indici termodinamici connessi indicano la predisposizione dell'atmosfera all'innesco di fenomeni temporaleschi potenzialmente in grado di generare tornado, che tuttavia richiedono per il loro effettivo sviluppo la presenza di altre condizioni necessarie, quali ad esempio la spinta iniziale (frontale, orografica o per forte riscaldamento dal basso).

1.4.3 Radar meteorologici

Nell'ambito delle previsioni a breve termine (nowcasting) i radar meteorologici giocano un ruolo molto importante. Essi infatti, consentono di misurare l'intensità delle idrometeore (pioggia, neve, ghiaccio) presenti nell'atmosfera.

I radar meteo sono composti da una parte emittente, che invia nell'atmosfera impulsi di onde elettromagnetiche fino ad una distanza di 100-250 km di raggio e 10 km di altezza, e di una parte ricevente che ha la funzione di raccogliere la frazione di energia riflessa (riflettività) dagli ostacoli che l'onda emessa incontra lungo il suo percorso. L'elaborazione della riflettività consente di stimare l'entità e la tipologia delle precipitazioni e di rappresentarle sulle mappe radar con diverse tonalità di colore.

² Vedi Appendice B

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

Oltre ai normali radar meteo, esistono degli speciali radar chiamati radar Doppler che, sfruttando l'omonimo effetto acustico, consentono di stimare la velocità di spostamento con cui le particelle che costituiscono la nube (gocce e cristalli) si avvicinano o si allontanano dal radar. Tali valutazioni risultano essenziali per valutare il wind shear a diverse altitudini. Questi speciali radar permettono quindi di conoscere, oltre all'intensità della precipitazione, la direzione di spostamento dell'evento meteorologico.

1.5 Normativa italiana

1.5.1 NTC 2008

La normativa italiana non dà indicazioni specifiche riguardo i criteri da adottare nella progettazione di strutture civili ed industriali nel caso di eventi atmosferici quali i tornado. Le norme vigenti per le costruzioni sono quelle contenute nelle NTC 2008 che, al paragrafo 3.3, affrontano la tematica delle azioni del vento sulle costruzioni.

Le azioni del vento considerate dalle norme sono esclusivamente quelle determinate da venti orizzontali, che se pur di natura dinamica sono ricondotte ad azioni statiche equivalenti che si traducono in pressioni e depressioni agenti in direzione ortogonale alle superfici che compongono le costruzioni.

1.5.2 CNR 2008

Il Consiglio Nazionale delle Ricerche ha predisposto nel 2008, attraverso l'attività di un Gruppo di Lavoro, il Documento CNR-DT 207/2008 "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni".

Tali istruzioni, conformemente a quanto riportato nelle norme tecniche per le costruzioni definiscono le azioni del vento per tipologie di opere caratterizzate da altezze elevate, snellezza, flessibilità e leggerezza, abbinate a forme particolari, opere per le quali l'azione aerodinamica del vento assume particolare rilevanza; i suoi effetti devono essere opportunamente valutati ai fini del conseguimento del livello di sicurezza desiderato.

All'interno di tali istruzioni tra venti associati a particolari condizioni atmosferiche vengono citati i tornado, definiti come *"l'evento naturale singolarmente più distruttivo; in alcuni paesi del mondo danno luogo a velocità persino superiori a 300 km/h, con punte stimate di 700 km/h; fortunatamente hanno limitata estensione e ridotta probabilità di accadimento"*.

Questa tipologia di eventi resta comunque esclusa nelle successive valutazioni delle azioni del vento sulle costruzioni.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

1.6 Normativa USA

Negli Stati Uniti, notoriamente soggetti ad eventi di tornado catastrofici con frequenze elevate, le norme e gli standard di riferimento per le costruzioni sono:

- International Building Code - 2012;
- Standard ASCE (American Society of Civil Engineering) 7 - Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures;
- ANSI/ANS-2.3-2011 (Nuclear Facilities);
- FEMA 361 (Storm Shelters, Safe Rooms).

Lo Standard ASCE 7, fornisce alcune informazioni interessanti:

- indica una frequenza di accadimento di $1E-5$ (eventi/anno) per velocità massima del vento, in caso di tornado, variabili da 100 a 200 mph (161-322 km/h) per differenti zone degli Stati Uniti;
- evidenzia come la probabilità di raggiungere velocità di picco significative (sia pure di dimensioni non paragonabili ai tornado più forti) con venti non generati da tornado sia significativamente maggiore della probabilità di raggiungere le stesse velocità durante fenomeni tornadici;
- specifica che, per circa la metà dei tornado registrati negli USA, le velocità delle raffiche di vento dei tornado sono inferiori alle velocità di picco di riferimento.

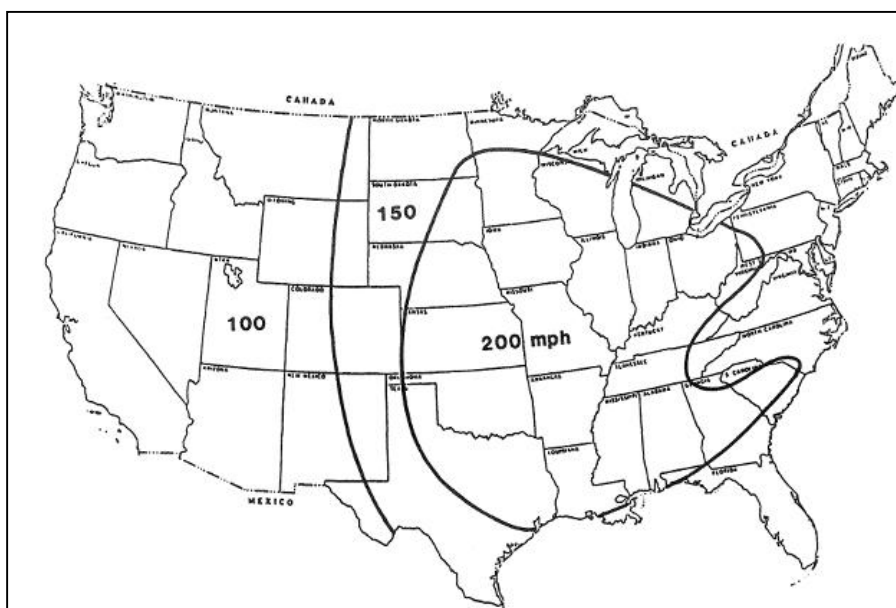


Figura 3. Velocità venti di tornado correlati con una probabilità annua di accadimento di 10^{-5}

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

1.7 Tornado in Italia

Anche in Italia possono originarsi dei tornado, gran parte dei quali con intensità del fenomeno vorticoso solitamente medio bassa, fra i gradi EF1 - EF2 della scala Enhanced Fujita. Questi fenomeni in genere si sviluppano dopo periodi caldi e umidi, quando nuclei di aria fredda e secca provenienti dal Nord Europa transitano sopra a masse di aria calda e umida.

Le zone più colpite sono la pianura Padana, in particolare le aree pedemontane delle Alpi, il Ponente ligure, il Friuli, la Versilia, le coste del Lazio e la Sicilia orientale.

Le frequenze maggiori, corrispondenti con quelle dei temporali, si registrano in agosto in Italia settentrionale e a settembre-ottobre sulle coste tirreniche.

I tornado generati nelle pianure interne, in particolare nella Pianura Padano-Veneta, possono raggiungere forti intensità dovute alla simultanea irruzione di area fredda e secca dalle Alpi e al richiamo di aria caldo-umida dal Golfo di Venezia.

Tra i tornado di eccezionale intensità verificatisi durante l'ultimo secolo nella penisola si ricordano:

- 24 Luglio 1930 a Volpago del Montello (TV) - Le stime riportano di raffiche, stimate come prossime ai 500 km/h, che porterebbero oggi il tornado a livello EF5, il più potente mai registrato in Italia così come in Europa. Si contarono 23 vittime e danni strutturali pesantissimi, con numerose abitazioni rase al suolo.
- 16 Giugno 1957 Oltrepò Pavese – classificabile ex post come EF4 , con venti all'interno del vortice stimati oltre i 400 km/h; si contarono 6 vittime e numerosi feriti. Non molto distante e pochi anni dopo un altro tornado provocò 9 vittime tra parmense e piacentino; era il 4 Luglio 1965.
- 11 settembre 1970 Laguna Veneta - classificabile ex post come EF4, originato sui Colli Euganei, distrusse diverse abitazioni, provocando una strage nel momento in cui raggiunse Venezia. Il bilancio complessivo è stato di 36 morti e circa 500 feriti.
- 8 luglio 2015 Mira e Dolo (VE) - Il tornado dell'8 luglio 2015, che ha interessato alcune zone della Riviera del Brenta, probabilmente va classificato come EF4, quindi come uno dei più intensi verificatisi in Veneto. Secondo tale scala la velocità del vento, stimabile in base ai danni riscontrati, è compresa tra circa 270 e 320 km/h³.

³ ARPAV - 9 luglio 2015 - Temporali intensi di mercoledì 8 luglio 2015 sul veneto

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

1.7.1 Tornado in Sardegna

La regione Sardegna, il cui territorio risulta per circa l'80% montuoso e collinare, presenta zone pianeggianti complessivamente poco estese e, ad eccezione della pianura del Campidano che separa i rilievi centro settentrionali dai monti dell'Iglesiente, confinate alle zone costiere. Tali caratteristiche rendono la regione fisicamente "protetta" dalla formazione di eventi di tornado che possano raggiungere intensità elevate.

Per caratterizzare il territorio della Regione Sardegna, sulla base del numero di eventi di tornado occorsi negli anni, è stato considerato come fonte principale il database:

- European Severe Weather Database.

European Severe Weather Database

L'"European Severe Weather Database" (www.eswd.eu) è una banca dati che raccoglie, suddivisi per tipologie, gli eventi meteorologici occorsi in tutta Europa. È stato possibile individuare i principali eventi di tornado che hanno interessato la Sardegna. Il periodo interessato dalle segnalazioni presenti nel database è compreso dal 1980 al 2015, segnalazioni che evidenziano una certa continuità solo dal 2005 in poi.

Nella tabella seguente si riportano (dove segnalato), per ogni evento considerato, la data, il luogo, l'intensità (Scala Fujita), la lunghezza del percorso/larghezza del tornado, la durata ed il numero di feriti e morti occorsi a seguito del tornado. Viene riportata inoltre la descrizione presente nel ESWD circa le fonti di segnalazione e di caratterizzazione dell'evento.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

#	Data	Luogo	Descrizione/Report (European Severe Weather Database)				
			Intensità	Lunghezza/larghezza	Durata	Feriti/morti	Riferimenti e descrizione
1	04/09/2015	Piscinas (VS)	F1	--	--	--	Based on: information from : photo or video of the event, a newspaper report, a report on a website Occurring over: landwater Source: http://www.unionesarda.it/articolo/cronaca/2015/09/05/abus_tromba_d_aria_sulla_spiaggia_spazzato_via_stabilimento_a_pi-68-433501.html(s)
2	28/10/2014	Cagliari	--	--	--	--	Based on: information from : photo or video of the event, an eye-witness report, a report on a website Occurring over: water Source: witness photo report, v. Instagram, 29 OCT 2014; corrisp. v. Severe Weather Russia;
3	27/10/2014	Porto Pino (CI)	--	--	--	--	Based on: information from : photo or video of the event, an eye-witness report, a report on a website Occurring over: water Source: photo report v. RETE METEO AMATORI, v. Facebook, 27 OCT 2014; corrisp. v. Severe Weather Russia; https://scontent-b-fra.xx.fbcdn.net/hphotos-xpa1/v/t1.0-9/9772_669281746519264_9189993325216701284_n.png?oh=c8afe97e54327286e970ffcabd8518ab&oe=54D5BA60
4	23/08/2014	Carloforte (CI)	--	--	--	1/--	Based on: information from : photo or video of the event, a report on a website Occurring over: landwater Source: "Tromba d'aria in Sardegna, ferito un bambino", CENTRO METEO ITALIANO, 24 AUG 2014; http://www.centrometeoitaliano.it/tromba-daria-sardegna-ferito-bambino-24-08-2014-18640/?refresh_cens
5	04/04/2014	Villagrecia (CA)	--	--	--	--	Based on: information from : photo or video of the event, a newspaper report, a report on a website Occurring over: land Source: tromba d'aria between Serrenti e Villagrecia (SS131)VIDEO: http://www.youtube.com/watch?v=byueFRXget0(s)
6	04/11/2013	Bosa (OR)	--	--	--	--	Based on: information from a report by a weather service, a report in scientific literature, a report on a website Occurring over: water Source: "Maltempo in Sardegna, tromba d'aria a Bosa: danni ingenti", METEOWEB.eu, 05 NOV 2013; http://www.meteoweb.eu/wp-content/uploads/2013/11/1000240_662553277109224_627759044_n.jpg
7	05/09/2013	San Gavino Monreale (VS)	F0	--	--	--	Based on: information from : an eye-witness report a newspaper report photograph(s) and/or video footage of the inflicted damage a report on a website. Occurring over: land Tornado over medio campidano region, Sardinia (probably filmed in final rope); Video: http://www.youtube.com/watch?v=ZJULLOGPAUA&hd=1

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

#	Data	Luogo	Descrizione/Report (European Severe Weather Database)				
			Intensità	Lunghezza/larghezza	Durata	Feriti/morti	Riferimenti e descrizione
8	08/02/2013	Porto Cervo (OT)	F0	--	--	--	Based on: information from : an eye-witness report a newspaper report photograph(s) and/or video footage of the inflicted damage a report on a website. Occurring over: landwater Source: COSTA SMERALD (FB account + photo reports); Source 2: "L'Isola gela: -6.7 a Gavoi. Neve a Tempio, tromba d'aria a Porto Cervo. A Olbia un black-out per i fulmini", SARDINIA POST, 08 FEB 2013.
9	04/12/2011	Alghero (SS)	--	--	5 min.	--	Based on: information from : photo or video of the event a report on a website. Occurring over: landwater Video waterspout tornado Alghero: http://www.youtube.com/watch?v=gA0lpJ6MLNg ;
10	22/11/2011	Budoni (OT)	--	--	--	--	Based on: information from : photo or video of the event an eye-witness report a newspaper report a report on a website Occurring over: land Source: A very big waterspout over sea of Budoni - Sardinia. Video: http://www.youtube.com/watch?v=TFZidIqbdLk ; http://www.youtube.com/watch?v=j2EWjj4K6p0 .
11	10/10/2010	Solanas (CA)	--	--	5 min	--	Based on: information from : photo or video of the event an eye-witness report a report on a website a report in some literature. Occurring over: water Waterspout non completamente condensata fino al mare, ma erano presenti schizzi d acqua sulla superficie del mare. causa della tromba marina un MCS sul sud est Sardegna. photo material: http://www.meteoweb.it/images/Sar101010/7.png .
12	19/05/2010	Perfugas (SS)	F1	--	--	--	Based on: information from : photo or video of the event a report on a website. Occurring over: land Tornado in Sardinia, Perfugas, Sassari. Forum link: http://forum.meteonet.it/showthread.php?p=1058250721#post1058250721 .
13	10/10/2009	Marina di Orosei (NU)	--	--	5 min.	--	Based on: information from : photo or video of the event an eye-witness report a report received by e-mail a report on a website. Occurring over: water Foto available http://www.flickr.com/photos/mari4ever/4019417004 . Duration confirmed from an interview with the author (Marinella Boschi).
14	15/09/2006	Stintino (SS)	--	--	--	--	Based on: information from : photo or video of the event a report on a website. Occurring over: water Link foto: " http://farm3.static.flickr.com/2511/4175194094_099d16c163.jpg ".
15	29/06/2006	Alghero (SS)	F1	--	--	--	Based on: information from : a newspaper report photograph(s) and/or video footage of the inflicted damage a report on a website a damage survey by a severe weather expert. Occurring over: landwater

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 171291

#	Data	Luogo	Descrizione/Report (<i>European Severe Weather Database</i>)				
			Intensità	Lunghezza/larghezza	Durata	Feriti/morti	Riferimenti e descrizione
							<i>tornado was observed. It partly occurred over the beach, partly over the sea;</i>
16	11/09/2005	Carloforte (CI)	--	--	--	--	<i>Based on: information from : a report by a weather service a report in scientific literature a report on a website. Occurring over: water Source: Overview of tornadoes in Italy in 2005 by MeteoNetwork, Thunderstorm Team, Italian Storm Chasers; http://storms.meteonetwork.it/modules/news/article.php?story_id=59.</i>
17	29/08/2005	Bari Sardo (OG)	--	--	--	--	<i>Based on: information from : a report by a weather service a report in scientific literature a report on a website. Occurring over: landwater Source: Overview of tornadoes in Italy in 2005 by MeteoNetwork, Thunderstorm Team, Italian Storm Chasers; http://storms.meteonetwork.it/modules/news/article.php?story_id=59</i>
18	24/07/1999	Platamona (SS)	F1	--	--	--	<i>Based on: information from : photo or video of the event an eye-witness report a report by a weather service a report on a website. Occurring over: landWater http://www.meteosardegna.it/news/read.php?id=90.</i>
19	02/01/1980	Perdaxius (CI)	F2	--	--	--	<i>Based on: information from : a newspaper report. Occurring over: land Tornado hit area of Perdaxius, ripping solid olive trees off the ground and throwing them several meters; source: "Tromba d'aria nel Cagliariitano", LA STAMPA, 03 JAN 1980.</i>
20	02/01/1980	Santa Giusta (OR)	--	5 km/--	--	--	<i>Based on: information from : a newspaper report. Occurring over: landwater Tornado hit area of Canale di Pesaria and Santa Giusta town; damage; source: "Prigionieri della bufera in Barbagia", L'UNITÀ, 04 JAN 1980.</i>

Tabella 3. Tornado Regione Sardegna 1930-2015 -ESWD

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017**Titolo:** Modulo 4 – Natech**Progetto n.** 17129I

Sulla base delle informazioni disponibili nella banca dati, si può osservare come l'intensità massima raggiunta, nel periodo considerato, sia stata quella del tornado che ha colpito la località di Perdaxius (CI) il 2 gennaio 1980, classificato F2.

I restanti 19 eventi segnalati non hanno raggiunto intensità ragguardevoli, o non sono stati classificati, alcuni dei quali Trombe marine che non hanno interessato la terra ferma. Le segnalazioni presenti nel database preso come fonte evidenziano una scarsa propensione del territorio della Sardegna ad essere oggetto di questa tipologia di eventi, in particolar modo per quelli di forte intensità ($\geq EF3$) che non risultano nel periodo considerato essersi mai stati registrati.

Si ritiene pertanto non necessaria una valutazione approfondita del rischio derivante da questa tipologia di eventi.

1.8 Normativa di riferimento per la progettazione

La normativa tecnica in materia di costruzioni e di verifiche è stata consolidata con il D.M. 14/01/2008, contenente le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), in cui vengono definiti i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.

Esse forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere. Tutti gli edifici e le strutture previste dal progetto saranno progettate e realizzate secondo la normativa vigente in materia, in relazione ai carichi derivanti dal vento.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

2 TSUNAMI

Le "onde di maremoto" o Tsunami sono onde generate per impulso, il più delle volte da terremoti, eruzioni vulcaniche o imponenti smottamenti sottomarini.

2.1 Tsunami

A differenza delle tradizionali onde marine, prodotte dal vento e dalle correnti, il maremoto agisce come una intensa perturbazione sottomarina che coinvolge l'intera colonna d'acqua, dal fondale fino alla superficie. Le onde create da simili forze improvvise possono presentare lunghezze d'onda che raggiungono anche i 240 km. In acque profonde in genere sono alte solo 30-60 centimetri e caratterizzate da altissima velocità di propagazione: la velocità di propagazione (v) è una funzione alquanto complessa della profondità del mare (h) e della lunghezza d'onda (λ) che influisce in misura minore:

$$v = \sqrt{(g\lambda/2\pi) \tanh(2\pi h/\lambda)}$$

approssimata dalla formula seguente:

$$v = \sqrt{gh}$$

dove g è l'accelerazione di gravità (9,8 m/sec²).

Quando lo Tsunami si avvicina alla costa il fondale, divenendo sempre più basso, provoca attrito sulla perturbazione sottomarina, costringendola a rallentare improvvisamente la sua elevata velocità di propagazione. Mentre ciò accade l'energia contenuta (per il principio di conservazione dell'energia) in seno a tale perturbazione tenderà a far crescere a dismisura l'altezza dell'onda, favorendo così la formazione di un vero e proprio muro d'acqua; in assenza di importanti fenomeni di rifrazione, l'onda insorge come una grande alta marea, invadendo la terra ferma. Se il cavo dell'onda raggiunge per primo la costa avremo l'effetto "draw-down" di abbassamento del livello del mare, seguito dall'effetto di "run-up" di innalzamento repentino del livello del mare.

La soglia di magnitudo per un terremoto tsunamigenico assunta dal sistema d'allarme oggi in funzione nel Pacifico (Pacific Tsunami Warning System PTWS) è la magnitudo 6,5.

Confronto tra le principali caratteristiche dei fenomeni ondosi

Riportiamo di seguito una tabella di confronto tra le "onde di vento" e gli tsunami.

Caratteristiche	Onde di vento (includere onde anomale)	Tsunami
Causa principale	Vento	Terremoti; Eruzioni vulcaniche; Frane sottomarine; Meteoriti; Particolari condizioni meteo
Periodo	5-20 sec	10 min.-2h
Lunghezza d'onda	100-200 m	Fino a 500 Km
Velocità di propagazione	Fino a 90 km/h	Fino a 800 km/h
Profondità delle acque interessate	Superficiale	Intera colonna d'acqua

Tabella 4. Caratteristiche onde di vento e tsunami

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

2.2 Eventi di tsunami registrati in Italia

Il catalogo dei maremoti italiani è stato curato nel 1996 da Tinti e Maramai secondo un format definito da un pool di esperti nel corso del progetto GITEC-TWO (1996-1998: Genesis and Impact of Tsunamis on the European Coasts – Tsunami Warning and Observations) e successivamente applicato anche in altri cataloghi europei (v. Tinti et al., 2001a). Il catalogo, ulteriormente aggiornato a seguito di studi recenti (v. Graziani et al., 2006; Maramai et al., 2007) conta oggi 72 eventi.

Nella mappa, riportata nella seguente figura, si osserva la distribuzione geografica degli eventi che hanno dato luogo a maremoti del catalogo. Ogni evento è contraddistinto da un valore di intensità, secondo la scala Ambraseys-Sieberg, che riconosce 6 gradi di intensità sulla base degli effetti del maremoto (1= molto lieve, strumentale; 6=disastroso). Laddove il maremoto è di origine sismica, viene riportata la posizione dell'epicentro del terremoto ricavata dai cataloghi sismici. Si noti che alcuni epicentri sono molto lontani dalle coste.

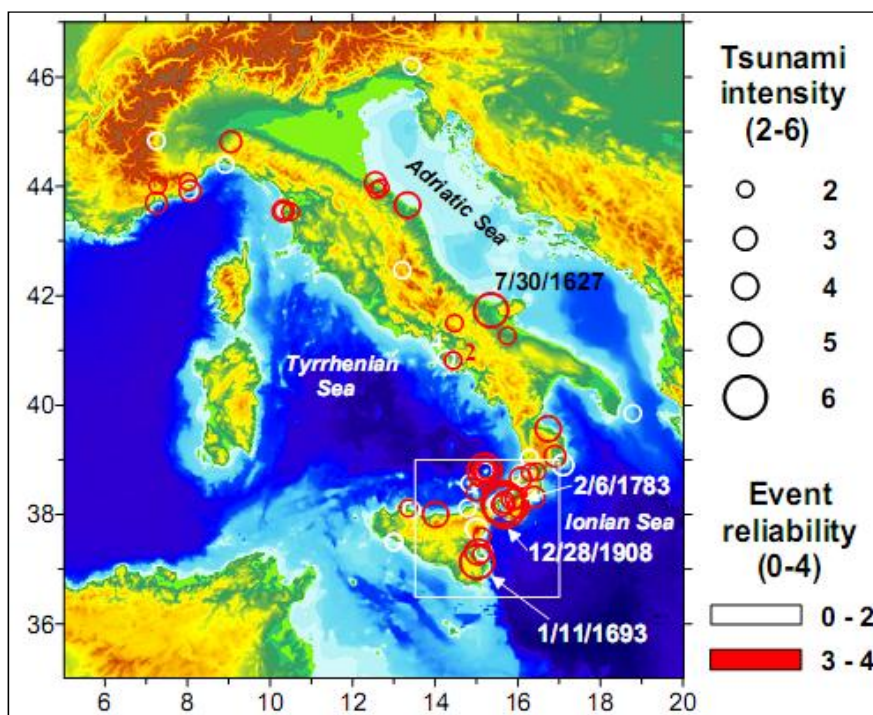


Figura 4. Distribuzione geografica dei maremoti italiani riportati per classi di intensità (scala Ambraseys-Sieberg) e per ripartizione di affidabilità.

Secondo R.Zecchi – 2006 [15], dall'anno 1 al 2002 sulle nostre coste si sono verificate onde anomale e maremoti in occasione di 108 periodi di attività sismica o vulcanica, mentre nei laghi gli eventi che hanno determinato onde anomale sono stati 23.

Quasi tutti gli eventi più significativi si sono manifestati prima con il ritiro improvviso delle acque e successivamente con l'invasione delle coste. L'altezza massima raggiunta dalle onde marine (run-up) è stata di 13 metri a Pellaro durante il terremoto Calabro Messinese del 1908, con velocità dell'onda stimata in 120

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017**Titolo:** Modulo 4 – Natech**Progetto n.** 17129I

m/s (430 km/h ca.). L'ingressione marina più vasta si ebbe in occasione del terremoto garganico del 1627 quando le acque in prossimità della foce del fiume Fortore si addentrarono per circa 3.000 metri.

I litorali maggiormente e più frequentemente interessati da tsunami in Italia sono stati: la costa Calabro Messinese, la costa Garganica, il Golfo di Napoli, la costa Adriatica Emiliano-Romagnola, il Golfo di Genova e le Isole Eolie.

Per quanto riguarda la causa di questi tsunami, se si escludono quelli di origine vulcanica, tutti concentrati nel golfo di Napoli, nelle Eolie o vicino all'Etna, tutti gli altri sono stati generati da terremoti sottomarini o avvenuti in prossimità della costa e da loro conseguenze.

Secondo il catalogo proposto da Tinti e Maramai, 1996, dal 79 d.C. ad oggi 47 eventi sismici avrebbero prodotto effetti di maremoto sulle coste italiane. Leggendo invece il catalogo di Caputo e Faita, 1987 i terremoti che avrebbero causato maremoti ed onde anomale veramente devastanti sulle nostre coste sarebbero una ventina.

Si osserva come l'intera costa della Regione Sardegna non sia mai stata coinvolta da eventi di tsunami.

Di fatto il territorio della Sardegna, ha il livello di sismicità più basso, cosa che rende altamente improbabile il verificarsi di un evento di tsunami generatosi lungo le sue coste, visto che, come già riportato, la soglia di magnitudo per un terremoto tsunamigenico assunta dal sistema d' allarme oggi in funzione nel Pacifico (Pacific Tsunami Warning Sistem PTWS) è la magnitudo 6,5.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

2.3 Tsunami nel mar mediterraneo

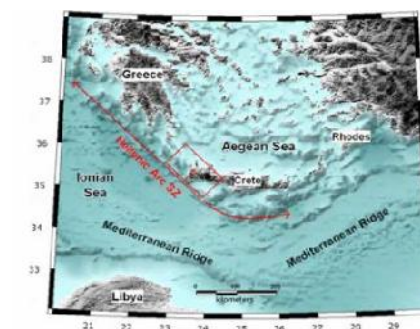
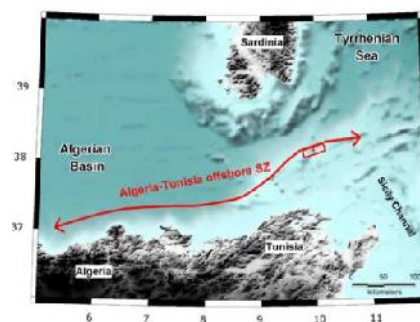
Nel 2008 è stato redatto da un gruppo di studio dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) uno studio dal titolo *"Earthquake-generated tsunamis in the Mediterranean Sea: Scenarios of potential threats to Southern Italy"* (Lorito et al.) cui sono stati valutati, tramite simulazioni numeriche computerizzate, i potenziali scenari di tsunami e relativi impatti per le coste del sud Italia generati dalle principali sorgenti sismogeniche presenti nel mar mediterraneo di cui di seguito riportiamo alcuni estratti.

2.3.1 Scenari di tsunami generati da terremoti per le coste italiane del mar Mediterraneo

Sono state individuate 3 principali sorgenti sismogeniche (Database of Individual Seismogenic Sources DISS Working Group, 2007; Basili et al., 2008) in grado di generare tsunami lungo li bacino del mar Mediterraneo, prendendo come riferimento il terremoto massimo credibile per ciascuna zona.

Le 3 zone tsunami geniche considerate sono:

- Algeria - Tunisia zona in mare aperto** - in questa zona, parte del conosciuto sistema montuoso Tell-Atlas che si sviluppa in direzione EO per l'intera lunghezza della costa Algerina, il terremoto più forte generato è quello del 10 ottobre 1980 verificatosi nelle vicinanze di El Asnam (Algeria), di magnitudo 7.1 (Global CMT catalog).
- Mar Tirreno Sud** - in questa zona che si sviluppa da Ovest (Canale di Sicilia) ad Est (isole Eolie) circa 50km al largo delle coste Siciliane, sono frequenti negli ultimi 30 anni eventi di magnitudo superiore a 5 (es. Palermo, 6 Settembre 2005, Mw 5.9).
- Arco Ellenico** - Zona sismica tra le più attive del Mediterraneo, ha dato prova di poter generare terremoti di magnitudo superiore a 8.0.



Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

Per ogni sorgente sismogenica è stato analizzato l’impatto dello tsunami atteso sulle coste del Mar Mediterraneo individuandone le corrispondenti altezze massime dell’onda prevista. A tal fine ogni zona bersaglio (Sardegna, Sicilia e Sud Italia) è stata suddivisa in chilometri, partendo da un punto scelto arbitrariamente. Nella seguente figura si osserva come Cagliari, si trovi circa in corrispondenza del km 500.

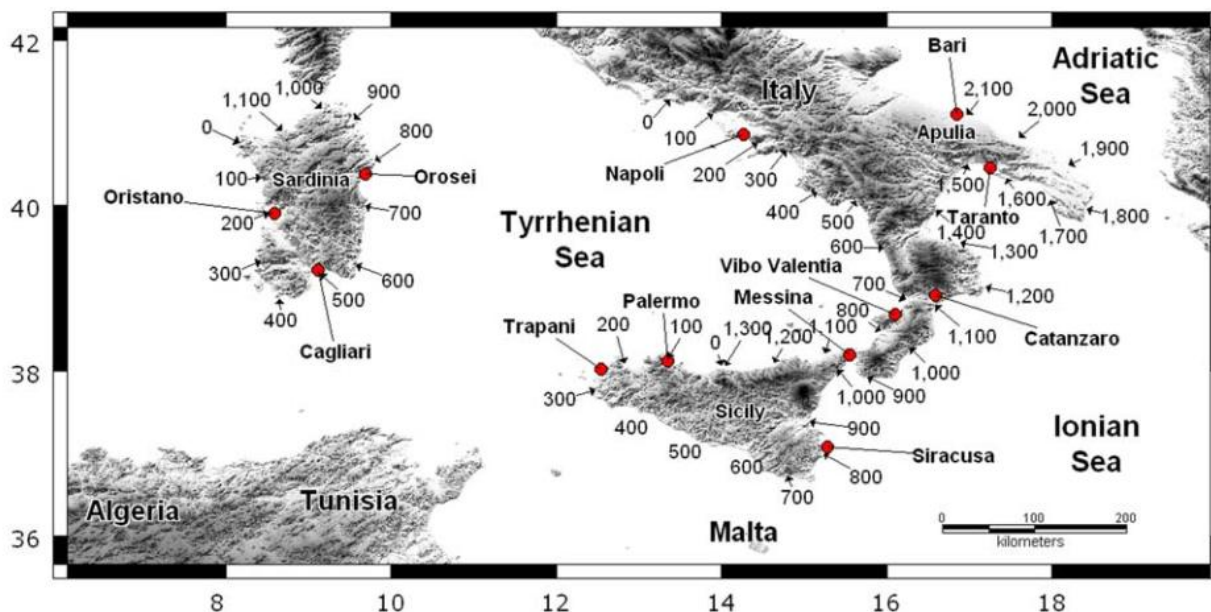


Figura 5. Zone bersaglio e suddivisione chilometrica delle coste – “Earthquake-generated tsunamis in the Mediterranean Sea: Scenarios of potential threats to Southern Italy”

Di seguito, per ciascuna delle tre sorgenti sismogeniche considerate, si riportano gli impatti attesi, in termini di altezza d’onda prevista (asse delle ordinate), per le coste della Sardegna (Cagliari km 500 asse delle ascisse):

- Colore nero: altezza Massima prevista;
- Colore blu: altezza Media;
- Colore rosso: altezza Media più deviazione standard.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

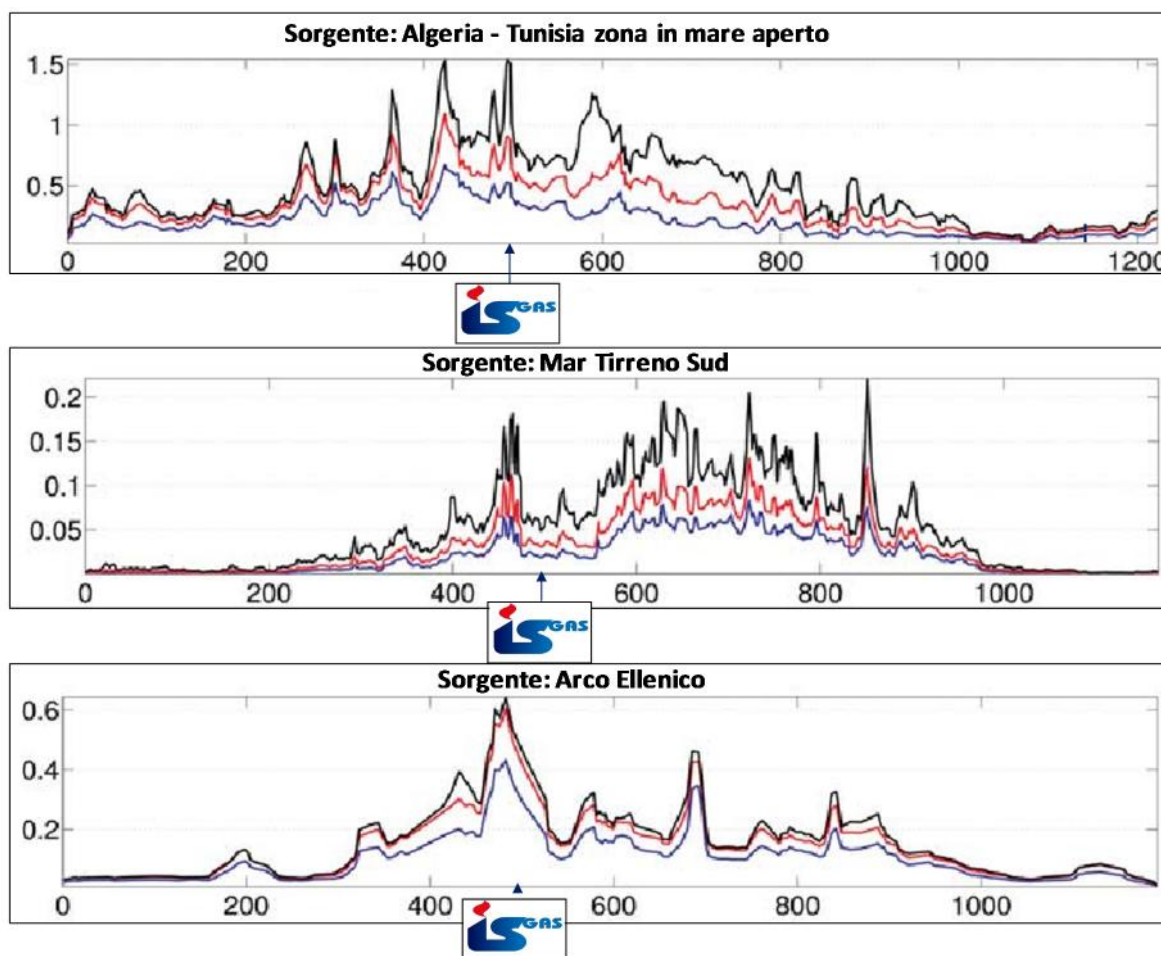


Figura 6. Profili di altezza d'onda attesa per le tre sorgenti considerate - "Earthquake-generated tsunamis in the Mediterranean Sea: Scenarios of potential threats to Southern Italy"

La figura mostra come per Cagliari (km 500 asse delle ascisse) l'altezza d'onda massima prevedibile, in mare alla linea della costa, sia di circa 1,5 m in relazione alla sorgente Algeria-Tunisia, mentre per le altre zone sorgente le altezze d'onda previste risultano minori e poco significative.

2.4 Ubicazione Progetto e protezioni naturali

Avendo escluso l'intero territorio della Sardegna come sorgente tsunamigenica, ed evidenziando come storicamente non siano mai stati registrati eventi di tsunami che hanno coinvolto le coste della Regione Sardegna, si evidenzia come il progetto previsto risulta in oltre ubicato all'interno dell'area portuale (circa 1 km dalla linea di costa), protetta per tutta la sua lunghezza da una diga foranea di lunghezza di circa 4 Km e con un'altezza del molo dal livello dell'acqua circa 3,50 – 4 m.

Si ritiene pertanto non necessario un approfondimento sui rischi derivanti da Tsunami per il terminal in progetto.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

3 SISMA

3.1 GENERALITÀ

La crosta terrestre è in costante movimento (teoria della tettonica); lo scorrimento di enormi masse rocciose (placche) determina la formazione di stati tensionali nelle zone di contatto (lungo le faglie).

Un terremoto si verifica quando gli stati tensionali superano la resistenza degli strati rocciosi e si ha un improvviso scorrimento delle superfici a contatto con conseguente rilascio dell'energia accumulata che si propaga nel suolo sotto forma di onde elastiche, causando movimenti di tipo ondulatorio e sussultorio del suolo stesso.

Semplificando, è possibile ricondurre un sisma a due punti ben definiti così descritti:

- Ipocentro: punto all'interno della crosta terrestre in cui ha avuto origine il terremoto;
- Epicentro: corrispondente punto sulla superficie terrestre posto sulla verticale dell'ipocentro.

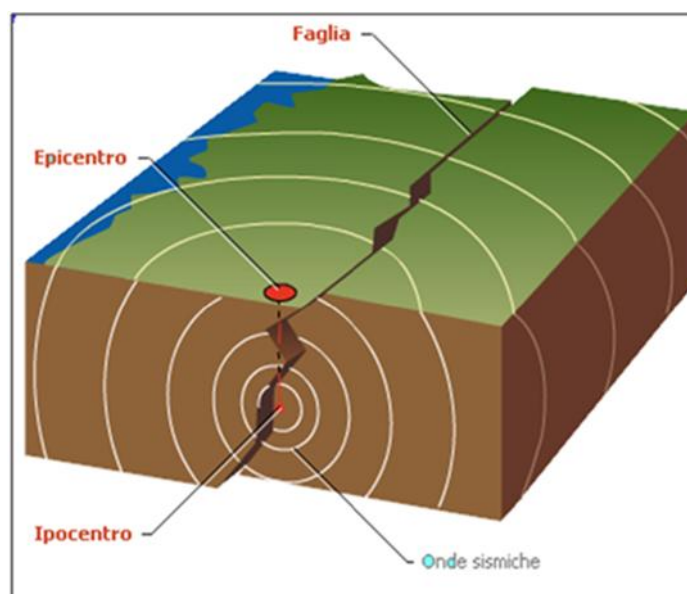


Figura 7. Epicentro e ipocentro di un sisma (<http://www.meteoweb.eu/>)

3.2 PARAMETRI DI RIFERIMENTO

3.2.1 Accelerazione di Picco al suolo (PGA)

Le onde sismiche provocano un movimento in entrambe le direzioni orizzontali (nella direzione di propagazione delle onde ed anche verticale), così come un movimento verticale dall'alto verso il basso. L'ampiezza e la rapidità (accelerazione e velocità) di questo spostamento dipendono da vari fattori: lunghezza della frattura (ovvero magnitudo), distanza dalla faglia e geologia del sottosuolo. Quest'ultima può, con piccole variazioni al di sotto delle stazioni di registrazione, avere una forte influenza sull'accelerazione e sulla

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

forma delle onde. Di conseguenza i valori di accelerazione possono fortemente disperdersi anche in piccole distanze. Ciò vale in particolare per i terremoti medio-grandi ed è pertanto difficile un'interpolazione dei valori di accelerazione. Generalmente però, l'accelerazione diminuisce con l'aumentare della distanza dalla frattura. Per calcolare il picco di accelerazione si fa riferimento allo spostamento orizzontale del suolo. L'accelerazione è data come frazione o multiplo dell'accelerazione di gravità, $g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$. Nei piccoli terremoti (magnitudo <3) è soprattutto l'accelerazione ad essere percepita dalla popolazione (Wu *et al.*, 2003). (Fonte principale: Earth and Space Sciences, University of Washington).

3.2.2 Velocità di Picco al suolo (PGV)

Il picco di velocità viene calcolato alle stazioni in cm/s. Per i calcoli si fa riferimento, come per l'accelerazione, al movimento orizzontale del terreno. Con terremoti medi e forti normalmente il modello di velocità ricavato riflette la geometria della frattura: le velocità più alte si manifestano nelle vicinanze della frattura e nella direzione di propagazione. Così come per l'accelerazione la natura geologica del sottosuolo ha una forte influenza sulla velocità, ma in questo caso in misura minore. Di regola forti danni e danni a strutture elastiche sono correlati con alte velocità. Il picco di velocità più alto osservato è di 183 cm/s. (Fonte principale: Earth and Space Sciences, University of Washington).

3.3 MISURA DELL'INTENSITÀ DEL SISMA

3.3.1 Scala Mercalli

L'idea di classificare gli effetti che un sisma può provocare sull'uomo, sulle costruzioni e sull'ambiente, è stata elaborata e sviluppata nel 1902 dal sismologo italiano Giuseppe Mercalli che suddivise l'intensità in 12 gradi di intensità macrosismica.

L'intensità macrosismica, cosiddetta perché classifica gli effetti macroscopici, più evidenti di un terremoto, è massima nella zona epicentrale, mentre diminuisce con la distanza dall'epicentro.

Tale diminuzione non è però regolare come ci si potrebbe aspettare, perché gli effetti dipendono non solo dalle caratteristiche dell'onda sismica, ma anche e soprattutto da quelle del terreno che l'onda incontra in superficie e dalle caratteristiche delle costruzioni, quindi l'intensità non può essere considerata una misura oggettiva della grandezza del terremoto, poiché è legata al luogo che si considera (area urbana, area rurale) e ai modi con i quali l'uomo ha occupato il territorio e vi ha costruito.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

3.3.2 Scala Richter

Nel 1935 il sismologo americano Charles Richter introdusse una modalità oggettiva di misura del terremoto, definendo la magnitudo di un evento sismico, valore calcolabile a partire dalle registrazioni degli strumenti sismici in relazione con l'energia associata all'evento.

Tale valore di riferimento è riferito all'ipocentro, indipendente dalle modalità di propagazione e dalle caratteristiche del territorio coinvolto, che non ha una diretta corrispondenza con ciò che si prova o si osserva durante la scossa.

La magnitudo, calcolata attraverso una relazione che lega l'ampiezza del sismogramma con la distanza dall'epicentro, è una grandezza logaritmica, cioè ad una variazione di un'unità corrisponde uno spostamento del pennino, e quindi del terreno, 10 volte maggiore ed equivale ad un terremoto 30 volte più grande. L'energia di un terremoto di magnitudo 7.0, simile a quello di Reggio Calabria e Messina del 1908, è quasi 1.000 volte più grande di quella di un terremoto di magnitudo 5.0. La massima magnitudo sino ad oggi attribuita ad un evento sismico è 9.0 (Sud Est Asiatico, 26 dicembre 2004).

3.4 Classificazione sismica del territorio

3.4.1 OPCM 3274/2003

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 2003, e la successiva OPCM n. 3519 del 2006 hanno fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche in cui è suddiviso il territorio italiano.

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

Tabella 5. Parametri di classificazione sismica (INGV)

Con Deliberazione n. 15/31 del 30/03/04 la Regione Sardegna ha approvato e fatto proprio il nuovo elenco della classificazione sismica.

L'intero territorio Regionale Sardo è classificato in zona sismica 4, zona considerata meno pericolosa, con un valore di accelerazione massima orizzontale su suolo rigido e pianeggiante (a_g) (con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni) $\leq 0,05$.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

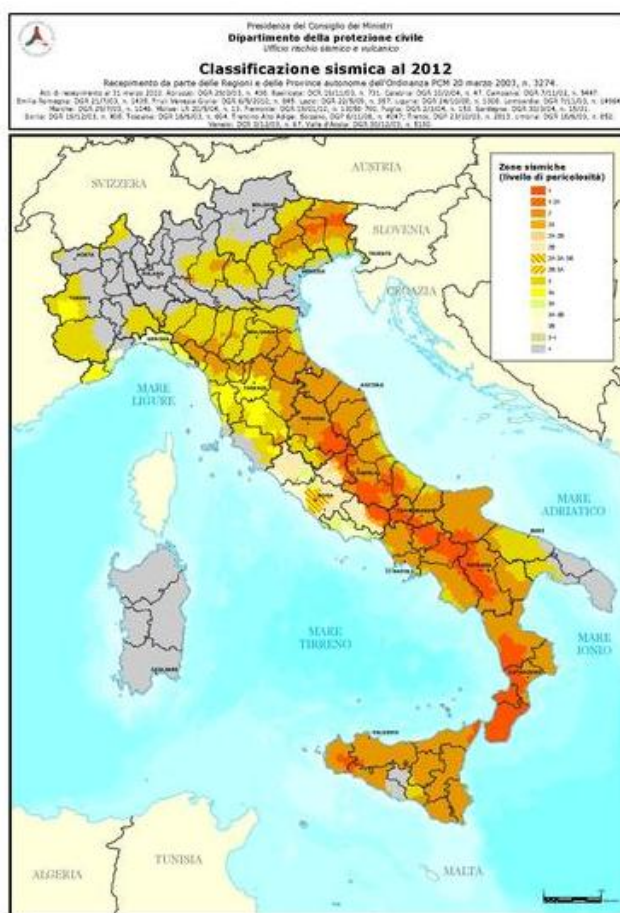


Figura8. Mappa Sismica dell'Italia al 2012 -
http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/A3_class2012_03prov_.pdf

3.4.2 NTC 2008

Secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2008 l'azione sismica non viene più definita sulla base delle 4 zone sismiche indicate nell'OPCM 3274/2003 e s.m.i., che restano pur valide ai fini amministrativi, ma si determina puntualmente per ogni sito. Questo lavoro è stato svolto dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) nell'ambito del "Progetto esse1" previsto dalla Convenzione 2004 - 2006 tra l'INGV e il Dipartimento della Protezione Civile. (<http://esse1.mi.ingv.it>).

L'azione sismica di riferimento per la progettazione (riportata nell'allegato A delle NTC2008) è stata definita sulla base delle stime di pericolosità sismica per il territorio nazionale, secondo una griglia regolare di nodi (con passo di 5 km, per un totale di oltre 10000 nodi) per ognuno dei quali il "Progetto esse1" ha calcolato oltre 2200 parametri che descrivono in maniera esaustiva la pericolosità sismica.

Tutti i dati sono accessibili e visualizzabili in mappa nel sito <http://esse1-gis-mi-ingv.it>.

Si riporta di seguito la mappa di pericolosità sismica di Cagliari dove si osserva come il valore di riferimento di PGA con probabilità di superamento del 10% in 50 anni si colloca tra 0,025-0,050g.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 171291

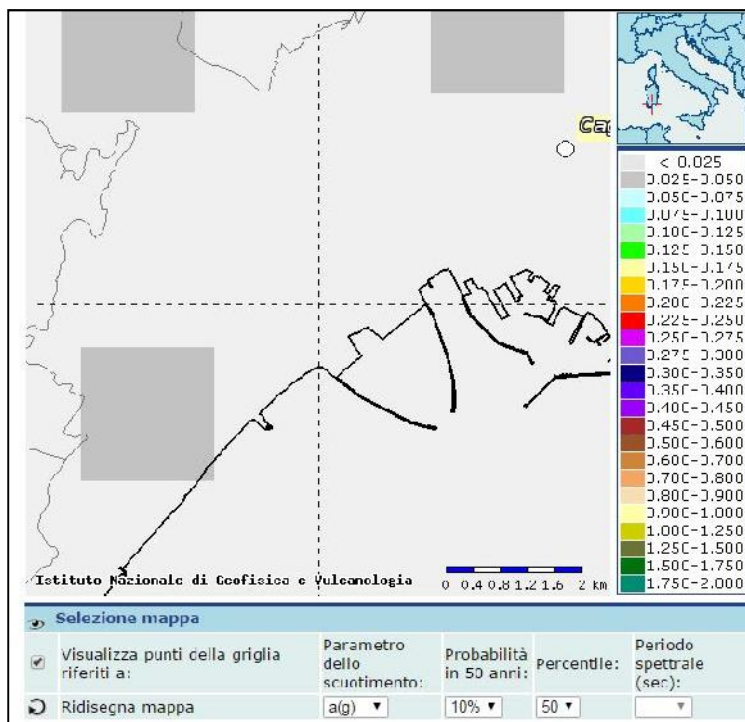


Figura 9. Mappa di pericolosità sismica di Cagliari (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

3.5 Normativa di riferimento per la progettazione

La normativa tecnica in materia di costruzioni e di verifiche è stata consolidata con il D.M. 14/01/2008, contenente le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), in cui vengono definiti i principi per il progetto, l’esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.

Esse forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

Tutti gli edifici e le strutture previste dal progetto saranno progettate e realizzate secondo la normativa vigente in materia di sicurezza antisismica.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

4 FRANE E ALLAGAMENTI

4.1 Generalità

Un aspetto essenziale per la definizione dello stato ambientale di un territorio è costituito dalla valutazione del rischio per frane (rischio geomorfologico) e allagamenti (rischio idraulico), complessivamente indicati in genere con il termine di “rischio idrogeologico”, definito dall'entità attesa delle perdite di vite umane, feriti, danni a proprietà, interruzione di attività economiche, in conseguenza del verificarsi di frane o inondazioni.

4.2 Piano di assetto idrogeologico (PAI)

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) è il documento che rappresenta uno stralcio di settore funzionale del Piano di bacino relativo alla pericolosità ed al rischio da frana ed idraulico, contenente, in particolare, l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico, nonché le relative misure di salvaguardia.

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino unico regionale PAI, è redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, con le relative fonti normative di conversione, modifica e integrazione.

Il PAI della Regione Sardegna è stato approvato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n.67 del 10.07.2006 con tutti i suoi elaborati descrittivi e cartografici, aggiornato nel 2015, con l'introduzione dell'articolo 30-bis e l'integrazione alle stesse N.A del PAI del Titolo V recante “Norme in materia di coordinamento tra il PAI e il Piano di Gestione del rischio di alluvioni (PGRA)”.

4.2.1 Rischio idraulico e di frana

Il rischio è stato definito nel PAI come rischio relativo a un determinato elemento, inteso come il valore atteso del danno che mediamente può subire l'elemento stesso in un prefissato periodo di tempo:

$$R = E (HxV)$$

dove:

E = entità degli elementi a rischio, cioè le persone e i beni che possono subire danni quando si verifica un evento, misurata in modo diverso a seconda della loro natura;

H = pericolosità (Hazard), cioè probabilità di accadimento di un determinato fenomeno potenziale in uno specifico periodo di tempo e in una data area; il valore di H è strettamente connesso al tempo di ritorno di un evento T, che esprime l'intervallo di tempo nel quale l'evento si verifica in media una volta. Vale infatti la relazione $H = 1 - (1 - 1/T)^t$.

V = vulnerabilità, definita come attitudine dell'elemento a rischio a subire danni per effetto dell'evento stesso (aliquota dell'elemento a rischio che viene danneggiata); è compresa tra 0 e 1.

Sulla base di queste considerazioni sono state poi redatte le mappe di rischio idraulico e di frana per le aree di competenza dell'Autorità di Bacino, individuando in particolare 4 classi di Rischio di così definite:

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

- **moderato R1** per il quale sono possibili danni sociali ed economici marginali;
- **medio R2** per il quale sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e lo svolgimento delle attività socio-economiche;
- **elevato R3** per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi e l'interruzione delle attività socio-economiche, danni al patrimonio culturale;
- **molto elevato R4** per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici e alle infrastrutture, danni al patrimonio culturale, la distruzione di attività socioeconomiche.

Secondo le perimetrazioni del PAI il le aree previste dal Progetto non ricadono in aree né a rischio idraulico né a rischio di Frana.

4.3 Piano per la Gestione del Rischio Alluvioni

La Direttiva Europea 2007/60/CE (Direttiva Alluvioni), recepita in Italia dal D.Lgs. 49/2010 e ss.mm.ii., ha istituito "un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni, volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche connesse con le alluvioni all'interno della Comunità".

In attuazione delle previsioni dell'art. 7 del D.Lgs. 49/2010 e dell'art. 13 del D.Lgs. 152/2006, con la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 1 del 30/07/2015 è stata adottata da parte della Regione Sardegna la "Proposta di Piano di gestione del rischio di alluvioni". Le mappe della pericolosità del Piano (art. 6 co. 2 e 3 del D.Lgs. 49/2010) contengono la perimetrazione delle aree geografiche che potrebbero essere interessate da alluvioni secondo tre diversi scenari distinti per probabilità di accadimento:

Pericolosità	Tempo di Ritorno	Scenario
P1 - Bassa	Maggiore di 500 anni, o massimo storico registrato (raro)	Elevata probabilità di alluvioni
P2 - Media	100-200 anni (poco frequente)	Media probabilità di alluvioni
P3 - Elevata	20-50 anni (frequente)	Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi

Tabella 6. Scenari a diversa pericolosità

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017**Titolo:** Modulo 4 – Natech**Progetto n.** 17129I

Le conseguenti mappe del rischio (art. 6 co. 5 del D.Lgs. 49/2010) sono il risultato finale dell'incrocio fra le mappe delle aree allagabili per i diversi scenari di pericolosità e i seguenti elementi esposti censiti raggruppati in classi di danno potenziale

- a) abitanti,
- b) attività economiche,
- c) impianti industriali ad elevato potenziale inquinante,
- d) aree protette,

tali da definire quattro classi di rischio Alluvione:

- **R4** (rischio molto elevato): per il quale sono possibili perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche;
- **R3** (rischio elevato): per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale;
- **R2** (rischio medio): per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- **R1** (rischio moderato o nullo): per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili o nulli.

Di seguito si riporta un estratto della carta del Rischio alluvione per il territorio della Sardegna (Tavole 144,145,161 162) che mostra come l'area prevista dal Progetto sia classificata per la maggior parte a rischio Alluvione R1 - Moderato o Nullo, e in una piccola porzione a rischio R2 - Medio.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

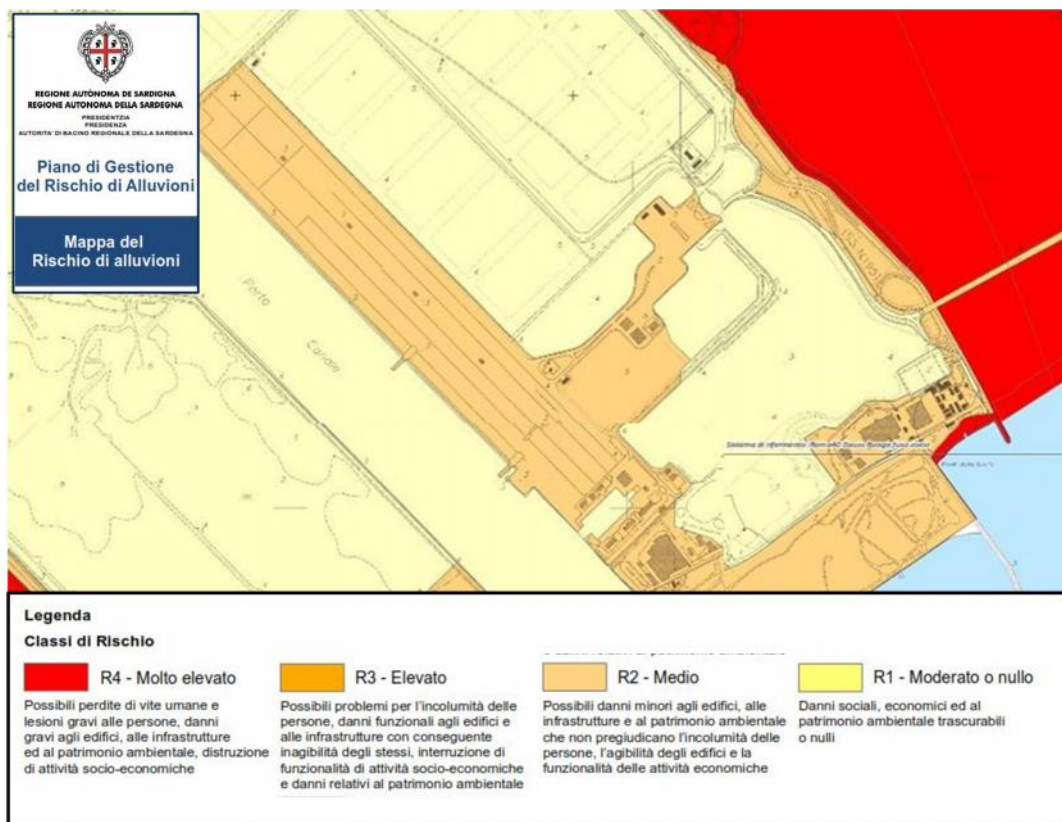


Figura 10. Estratto della Carta Rischio Alluvione Sardegna

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

5 FULMINAZIONI

5.1 Generalità⁴

I fulmini sono delle scariche elettriche transitorie con alta intensità di corrente che si verificano a causa della differenza di potenziale che si crea tra differenti zone.

Per poter originare una differenza di potenziale tale da generare la scarica elettrica è necessario che in due regioni diverse e relativamente vicine dell'atmosfera, o tra una regione dell'atmosfera e la crosta terrestre, si creino degli accumuli di cariche opposte.

Il processo di formazione delle cariche in grado di generare tali accumuli è il meccanismo convettivo all'interno di un temporale o di una turbolenza atmosferica. Una volta create le aree con carica opposta, se la differenza di potenziale tra di esse è sufficiente a creare una scarica, come tra poli opposti di una batteria, avverrà il passaggio di corrente e il conseguente illuminamento del percorso di carica.

La situazione propizia più classica per la produzione di fulmini è data dal temporale, costituito da nuvole dette cumulonembi, all'interno dei quali le correnti d'aria (Downdraft-Updraft), dovute a gradienti termici, e le correnti di particelle d'acqua e ghiaccio, favoriscono la formazione di cariche separate che si dispongono in regioni opposte della nube.

Le cariche tenderanno a disporsi secondo uno schema bi o tripolare, con le cariche negative nella parte bassa della nube e quelle positive nella parte alta così che il cumulonembo assume l'aspetto di un grosso dipolo, essendo le regioni cariche di qualche km di diametro. Tra queste regioni di carica opposta possono crearsi vari tipi di scarica, appunto i fulmini.

Immaginando un temporale come formato da più cumulonembi contenenti regioni di carica diverse, si può dedurre che i fulmini potranno svilupparsi sia tra le cariche della stessa nube sia tra una nube e l'altra sia infine tra la nube e la terra, che per effetto elettrostatico si carica di segno opposto a quello della parte inferiore della nube. Tipicamente infatti i fulmini sono distinti in:

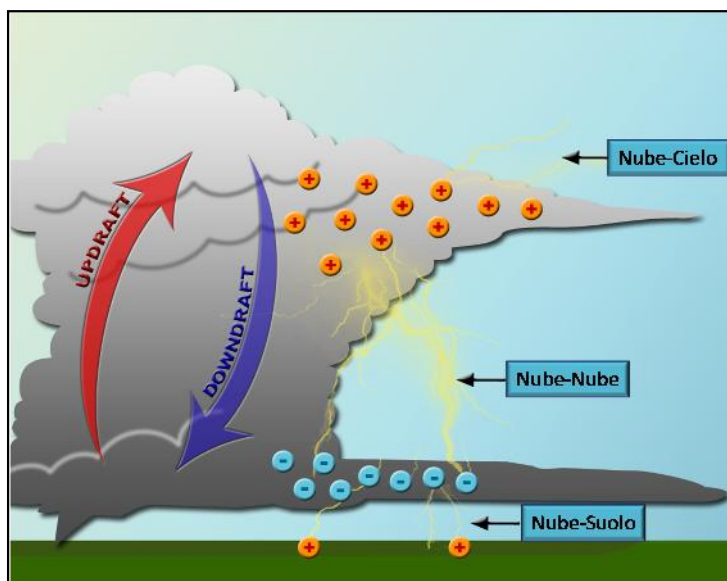
- Nube-Nube;
- Intranube;
- Nube-Suolo;
- Nube cielo.

⁴ Come fonte principale è stato utilizzato il sito internet del CESI-SIRF www.fulmini.it

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

Figura 11. Tipologie di fulmini (<http://www.wunderground.com>)

5.1.1 Fulmini nube-suolo

Il maggior numero di scariche, con rapporto di 9 a 1, si sviluppa tra le nubi o all'interno della nube stessa.

I fulmini nube-suolo, per quanto meno frequenti, sono i più pericolosi per le attività umane nonché i meglio conosciuti.

Ogni fulmine nube-suolo è in realtà formato da più componenti, che nell'insieme prendono il nome di fulmine. Il fulmine nel suo complesso ha una durata media di 0,2 sec., mentre le singole componenti hanno durata di decine di millisecondi e vengono chiamate colpi. Di solito per ogni fulmine ci sono due o tre colpi, intervallati da pause.

Il fulmine inizia a propagarsi quando si crea un canale di carica ancora molto debole e leggermente visibile, che incomincia a svilupparsi verso terra. Questo canale procede per passi successivi, ciascuno dei quali è lungo circa 50 m, con pause di circa 50 msec. Questo canale è chiamato "stepped-leader". Quando lo stepped-leader tocca terra o incontra un canale analogo ascendente, il circuito nube-suolo viene chiuso e si ha passaggio di corrente. La corrente illumina il canale ionizzato fin qui rimasto oscuro generando così la classica striscia luminosa; questa fase è chiamata "return stroke" (colpo di ritorno). La velocità del colpo di ritorno è circa 1/3 della velocità della luce. Durante il passaggio di corrente si ha un brusco cambiamento di temperatura e di densità nel canale ionizzato lasciato dallo stepped-leader. Questo brusco cambiamento origina un'onda di pressione che si propaga e che viene percepita come tuono. Il canale di carica ionizzato ha un diametro di qualche centimetro, mentre la temperatura può raggiungere i 30.000 K.

A questo punto il fulmine può esaurirsi, oppure dell'altra carica può passare nel canale preesistente, discendendo verso la terra in un secondo processo oscuro, chiamato "dart-leader", depositando altra carica lungo il canale; di nuovo al raggiungimento della terra si avrà passaggio di corrente con un secondo illuminamento, e così via per due o più dart-leader.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

Un fenomeno spesso concomitante alla discesa dello stepped-leader o alla presenza di una nube temporalesca, è la formazione di canali di carica ionizzata di segno opposto alla parte inferiore della nube, che si propagano verso essa o verso il canale discendente partendo da terra (tipicamente da punte o strutture isolate). Questi canali, chiamati "upward leader" (canali ascendenti), possono incontrare effettivamente il canale discendente, aiutandolo così a chiudere il percorso, o possono morire dopo poco senza aver originato il fulmine.

5.1.2 Parametri principali

I parametri principali che identificano un singolo colpo di fulmine sono sicuramente:

- **l'intensità di corrente (kA):** il valor medio di intensità di corrente di un fulmine è di 30 kA, con un intervallo che va dai 2 kA ai 200 kA.
- **la polarità(+/-):** dipende esclusivamente dalla carica della zona di formazione dello "stepped-leader".
- **il tempo di salita della cresta di corrente (µsec.):** Il tempo di salita della corrente per il primo colpo di ritorno è di qualche microsecondo, mentre è meno di un microsecondo per i colpi successivi;
- **il tempo di decadimento all'emivalore:** velocità di propagazione della corrente nel canale). (µsec.): Il tempo all'emivalore per il primo colpo è di circa 50-100 microsecondi.

5.2 Frequenza fulminazioni

Il Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), tramite l'applicazione online CEI ProDiSTM, fornisce i valori medi densità di fulmini al suolo (NG) per il territorio italiano ricavato dai dati del Sistema Italiano di Rilevamento Fulmini CESI – SIRF, ottenuti in oltre dieci anni di osservazioni.

Il valore di densità di fulminazioni NG per Cagliari, è di 1,12 fulmini al suolo all'anno su km².

Tale valore si colloca tra quelli più bassi del territorio Italiano (CESI-SIRF).

5.3 Sistemi di protezione e norme di riferimento

5.3.1 L.P.S. (Lightning Protection System)

I sistemi di protezione contro i fulmini (Lightning Protection System) hanno il compito di proteggere le strutture da incendi o da distruzione meccanica e le persone dentro agli edifici da danni o persino da morte.

Un sistema di protezione contro i fulmini è costituito da una protezione **esterna** e una **interna**.

Le funzioni della protezione contro i fulmini esterna sono:

- intercettare le fulminazioni dirette con un sistema di captatori;

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017**Titolo:** Modulo 4 – Natech**Progetto n.** 17129I

- condurre la corrente da fulmine in modo sicuro verso terra con un sistema di calate;
- distribuire la corrente di fulmine nella terra attraverso l'impianto di messa a terra.

La funzione della protezione contro i fulmini interna è:

- evitare la formazione di scariche pericolose all'interno della struttura. Questo viene ottenuto attraverso l'equipotenzialità o la distanza di sicurezza tra gli elementi del sistema di protezione e altri elementi conduttori all'interno della struttura. L'equipotenzialità antifulmine riduce le differenze di potenziale causate dalla corrente di fulmine. Viene ottenuta attraverso il collegamento diretto di tutte le parti conduttrici separate dell'impianto tramite conduttori oppure dispositivi di protezione da sovratensioni (SPD).

5.3.2 Norme di riferimento

La norma di riferimento per l'Italia è la CEI EN 62305 nella sua versione aggiornata del 2013 suddivisa in 4 parti a seconda dei contenuti degli argomenti trattati:

- **CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1):** "Principi generali". Questa parte contiene le informazioni relative al pericolo da fulmine, alle caratteristiche del fulmine e ai parametri significativi per la simulazione degli effetti prodotti dai fulmini.
- **CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2):** "Valutazione del rischio". La valutazione del rischio secondo CEI EN 62305-2 si basa su un'analisi dei rischi stessi al fine di stabilire per prima cosa la necessità di una protezione contro i fulmini. Dopodiché viene stabilita la misura di protezione ottimale dal punto di vista tecnico ed economico. Infine viene determinato il rischio residuo rimanente.
- **CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3):** "Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone". Tratta la protezione di edifici e persone dai danni materiali e dal pericolo di morte, che potrebbero essere causati dall'effetto della corrente da fulmine oppure da scariche pericolose.
- **CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4):** "Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture". Tratta la protezione di edifici contenenti sistemi elettrici ed elettronici dagli effetti dei disturbi elettromagnetici (LEMP) prodotti dai fulmini.

Tutti gli edifici e le strutture previste dal progetto saranno progettate e realizzate secondo la normativa vigente in materia di sicurezza nei confronti delle scariche atmosferiche.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

6 CONCLUSIONI

6.1 Tornado

Sulla base del presente studio, si può evincere come i tornado siano eventi difficilmente prevedibili, anche laddove (USA), per la loro frequenza e intensità, le risorse e tecnologie adottate dai maggiori enti privati e pubblici che si occupano di meteorologia ne permettano un monitoraggio puntuale ed una ampia registrazione in banche di dati informatizzate.

In base alle evidenze storiche, relative alla regione Sardegna, raccolte da fonti referenziate (ESWD), non si evidenziano storicamente, in tutto il territorio della Regione Sardegna, eventi di intensità significativa ($\geq EF3$) in grado di causare danni alle strutture individuate come vulnerabili nel presente studio.

È quindi da considerare quanto mai improbabile che un tornado di tale intensità colpisca l'area prevista per lo Stabilimento provocando danni tali da generare un incidente rilevante.

Tutti gli edifici e le strutture previste dal progetto saranno progettate e realizzate secondo la normativa vigente in materia, in relazione ai carichi derivanti dal vento.

6.2 Tsunami

Dall'analisi storica degli tsunami in ambito nazionale possiamo constatare come l'intera costa della Regione Sardegna non sia mai stata coinvolta da eventi di tsunami, né direttamente, a causa di eventi sismici verificatisi in tale area, né indirettamente a causa di eventi sismici o franosi che avessero colpito altre zone prossime alle coste Sarde. L'intero territorio regionale è classificato in zona sismica 4, livello più basso della classificazione. La possibilità che uno tsunami si generi a seguito di un evento sismico che interessi tale zona è molto remota. Si ricorda a tale proposito che la soglia di magnitudo per un terremoto tsunamigenico assunta dal sistema d'allarme oggi in funzione nel Pacifico (Pacific Tsunami Warning System PTWS) è la magnitudo 6,5.

Lo Studio "Earthquake-generated tsunamis in the Mediterranean Sea: Scenarios of potential threats to Southern Italy" (Lorito et al.) citato nel testo dimostra come, considerando le sorgenti sismogeniche più credibili per magnitudo attesa, per Cagliari l'altezza d'onda massima prevedibile attesa, sulla linea di costa, sarebbe di circa 1,5 m in relazione alla sorgente Algeria-Tunisia. Considerando come il Progetto previsto sia ubicato all'interno dell'area portuale di Cagliari, a circa 1 Km dalla linea di costa, protetta per tutta la sua lunghezza da una diga foranea di lunghezza di circa 4 Km e con un'altezza del molo dal livello dell'acqua circa 3,50 – 4 m, si ritiene non necessario procedere ad approfondimenti relativi al rischio derivante da Tsunami per il Progetto in esame.

Rapporto Preliminare di Sicurezza 2017

Titolo: Modulo 4 – Natech

Progetto n. 17129I

6.3 Sisma

Tutta la Regione Sardegna è classificata in Zona sismica 4, ritenuta la meno critica per il territorio italiano.

Lo Stabilimento di ricezione e stoccaggio GNL sarà progettato in ottemperanza alle norme vigenti in materia di costruzioni, nello specifico il DM 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”, attenendosi a quanto richiesto dal Decreto in merito ai requisiti antisismici delle costruzioni per il territorio in esame.

6.4 Frane e allagamenti

L’area prevista per lo Stabilimento si colloca in una zona non interessata per la maggior parte né da rischio idraulico, né da rischio di frane, così come definito dal Piano di Assetto Idrogeologico e dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni della Regione Sardegna. Solo alcune porzioni del progetto ricadrebbero in aree a rischio alluvione R2 - Medio.

6.5 Fulminazioni

Il valore di densità di fulminazioni NG per Cagliari, è di 1,13 fulmini al suolo all’anno su km², valore tra quelli più bassi del territorio Italiano (CESI-SIRF).

Lo Stabilimento previsto sarà progettato secondo le norme vigenti in materia di protezione contro le fulminazioni.