

ANNESSO 6
RISCHIO NATURALE TECNOLOGICO

ICARO



RAPPORTO PRELIMINARE DI SICUREZZA

ai sensi dell'art. 10 del D.Lgs. 334/99 e s.m.i.

Progetto di ampliamento del Deposito

ANNESSO 6

Modulo sui rischi tecnologici connessi ai fenomeni naturali anomali – (Na-Tech)

13173I_Annesso6_Natech	Ottobre 2014
Nome file	Data

Il presente documento è composto da una Relazione Generale di n° 61 pagine

INDICE

FINALITÀ	4
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	5
1 TORNADO	7
1.1 GENERALITÀ	7
1.2 ORIGINE E GENESI DEI TORNADO	7
1.2.1 Fenomeni temporaleschi	7
1.2.2 Genesi dei tornado	9
1.2.3 Vettori di impatto	10
1.3 MISURA DELL'INTENSITÀ DISTRUTTIVA DI UN TORNADO	11
1.3.1 La scala Enhanced Fujita	11
1.4 PREVISIONE DEI TORNADO	13
1.4.1 Radiosondaggio tramite pallone sonda	13
1.4.2 Indice SWEAT	14
1.4.3 Radar meteorologici	14
1.5 TORNADO IN ITALIA	15
1.5.1 Tornado in Sardegna	15
1.6 NORMATIVA ITALIANA	20
1.6.1 NTC 2008	20
1.6.2 CNR 2008	22
1.7 NORMATIVA USA	22
1.8 VALUTAZIONE DEL RISCHIO	23
1.8.1 Generalità	23
1.8.2 Carico del vento	24
1.8.3 Sollevamento	24
1.8.4 Forze orizzontali	25
1.8.5 Proiezione di oggetti	25
1.8.6 Cambi improvvisi di direzione	26
1.8.7 Preallarme di tornado	26
1.9 IMPOSTAZIONE E ANALISI	27
1.9.1 Intensità prevista del tornado	28
1.9.2 Sovrappressioni dinamiche	28
1.9.3 Effetti previsti per le strutture di impianto	28
1.10 VALUTAZIONI PROBABILISTICHE	30
1.10.1 Frequenza generale di accadimento nella regione Sardegna	30
1.10.2 Frequenza area impianto	31
2 TSUNAMI	32
2.1 GENERALITÀ	32
2.2 ONDE GENERATE DAL VENTO	34
2.3 ONDE ANOMALE	35
2.4 TSUNAMI	35

2.5	METEOTSUNAMI	36
2.6	EVENTI DI TSUNAMI REGISTRATI IN ITALIA	37
2.7	TSUNAMI NEL MAR MEDITERRANEO	39
2.7.1	Tsunami da terremoti per le coste italiane del mar Mediterraneo	39
2.7.2	Valutazione conseguenze	42
3	SISMA	43
3.1	GENERALITÀ	43
3.2	PARAMETRI DI RIFERIMENTO	44
3.2.1	Accelerazione di Picco al suolo (PGA)	44
3.2.2	Velocità di Picco al suolo (PGV)	44
3.3	MISURA DELL'INTENSITÀ DEL SISMA	44
3.3.1	Scala Mercalli	44
3.3.2	Scala Richter	45
3.4	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO ITALIANO	45
3.4.1	Valore di PGA per il Comune di Santa Giusta	47
3.5	Normativa di riferimento	48
3.5.1	DGR 15-31 del 30/03/2004	48
3.5.2	DM 14/01/2008	48
4	FRANE E ALLAGAMENTI	49
4.1	GENERALITÀ	49
4.2	PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)	49
4.2.1	Rischio Idraulico	50
4.2.2	Rischio Frana	51
5	FULMINAZIONI	53
5.1	GENERALITÀ	53
5.1.1	Fulmini nube-suolo	54
5.1.2	Parametri principali	55
5.2	FREQUENZA FULMINAZIONI	55
5.3	SISTEMI DI PROTEZIONE E NORME DI RIFERIMENTO	55
5.3.1	L.P.S. (Lightning Protection System)	55
5.3.2	Norme per l'installazione di sistemi di protezione LPS	56
6	CONCLUSIONI	57
6.1	TORNADO	57
6.2	TSUNAMI	57
6.3	SISMA	58
6.4	FRANE E ALLAGAMENTI	58
6.5	FULMINAZIONI	58
	APPENDICE A - INDICATORI DI DANNO DELLA SCALA ENHANCED FUJITA	59
	APPENDICE B - INDICE SWEAT (SEVERE WEATHER THREAT)	61

ESTENSORE DEL DOCUMENTO

Il presente documento è stato predisposto dal Dott. Francesco Piegai della società ICARO, con il supporto dello staff ICARO e della collaborazione del personale del Deposito Costiero della società IVI Petrolifera.

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 a 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 e bibliografia specializzata in materia, i rischi relativi al progetto di ampliamento del Deposito IVI Petrolifera di Santa Giusta (OR) derivanti dalle seguenti tipologie di eventi naturali:

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

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 <i>et al.</i>	Tornado intensity estimation: past, present, and future	American Meteorological Society,
2	2012	Neil B. Hall	Tornados, gust fronts and building damage	13 th 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>	Temporali 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	2006	M. Politeo <i>et al.</i>	Le avversità atmosferiche nell'agricoltura veneta nel periodo 1978-2005	Università degli Studi di Padova - Facoltà di Agraria
7	2006	F. Gianfreda, M. Miglietta, P. Sansò	La terra degli uragani	Colibri
8	2004	J. McDonald <i>et al.</i>	Enhanced Fujita Scale (EF-scale)	Wind Science & Engineering Center
9	2003	Nat. Oceanic and Atm. Administration (NOAA)	A Guide to F-Scale Damage Assessment	U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE - National Weather Service (NWS)
10	2000	A. Boissonnade <i>et al.</i>	Development of a Probabilistic Tornado Wind Hazard Model for the Continental United States – Volume I: Main Report	US Dpt of Energy
11	1989	C.J.H. van den Bosch <i>et al.</i>	Green Book - Methods for the determination of possible damage	The Netherlands Organization of Applied Scientific Research
Tsunami				
12	2013	G. Landucci <i>et al.</i>	Damage models for Storage and process equipment involved in flooding events	CET-AIDIC
13	2011	H. Brooker	Tsunami impact on fuel storage containers	Lehigh University
14	2008	Lorito <i>et al.</i>	Earthquake-generated tsunamis in the Mediterranean Sea: Scenarios of potential threats to Southern Italy	INGV

#	Anno	Autore	Titolo	Editore
15	2008	M. Campedel	Analysis of major industrial accidents triggered by natural events reported in the principal accident databases	JRC
16	2007	S.Tinti	I maremoti nelle coste italiane	GEOITALIA
17	2006	R.Zecchi	Distribuzione delle onde anomale nei mari italiani	AIC
Sisma				
18	2013	Cozzani <i>et al.</i>	Quantitative assessment of domino and Natech scenarios in complex industrial areas	JLP
19	2012	E.Marzo <i>et al.</i>	Sensitivity analysis of a short-cut methodology for assessing earthquake-related Na-tech risk	CET-AIDIC
20	2008	M.Campedel <i>et al.</i>	Extending the Quantitative Assessment of Industrial Risks to earthquake effects	Risk Analysisi
21	2008	M.S.Razzaghi <i>et al.</i>	Development of analytical fragility curves for cylindrical steel oil tanks	WCEE-World Conference on Earthquake Engineering
22	2003	FEMA	HAZUS-MH MR3 - Technical Manual	FEMA - Federal Emergency Management Agency
23	2003	E.Salzano <i>et al.</i>	Seismic risk of atmospheric storage tanks in the framework of quantitative risk analysisi	JLP
24	2003	I.Iervolino	Analisi Quantitativa di Rischio Sismico nell'Industria di Processo	Università degli Studi di Napoli Federico II
Frane e Allagamenti				
25	2009	--	Piano Urbanistico Comunale	Comune di Oristano
26	2004	D.Dovera <i>et al.</i>	Piano stralcio per l'Assetto idrogeologico (PAI)	Regione Sardegna

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

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.

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).

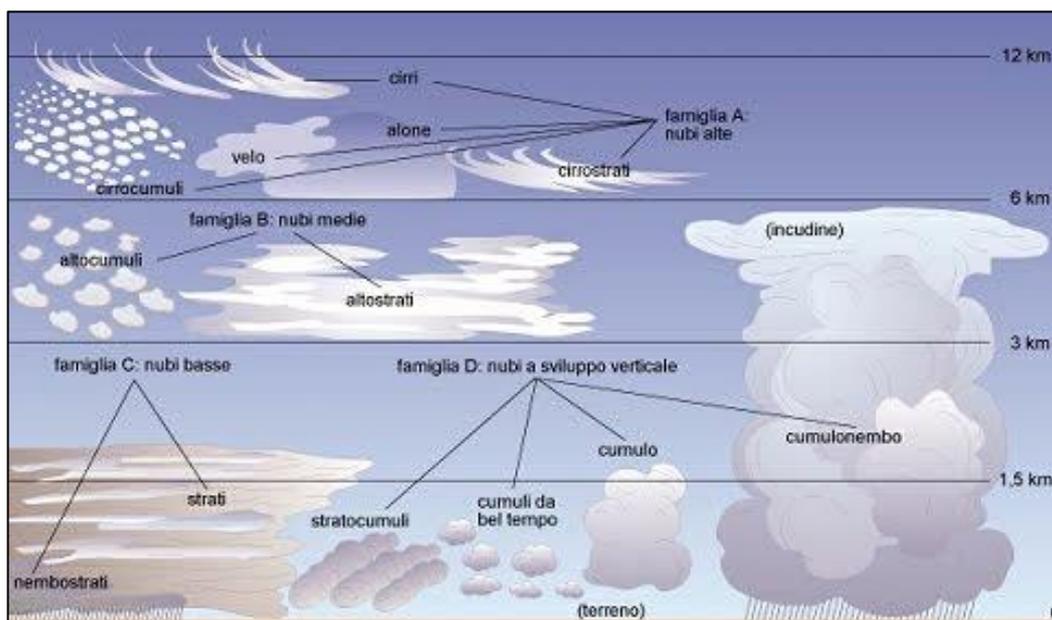


Figura 1. Struttura e caratteristiche principali delle nubi (Fonte: <http://www.settimocielogenova.it/utility/nubi/nubi.html>)

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

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.

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.

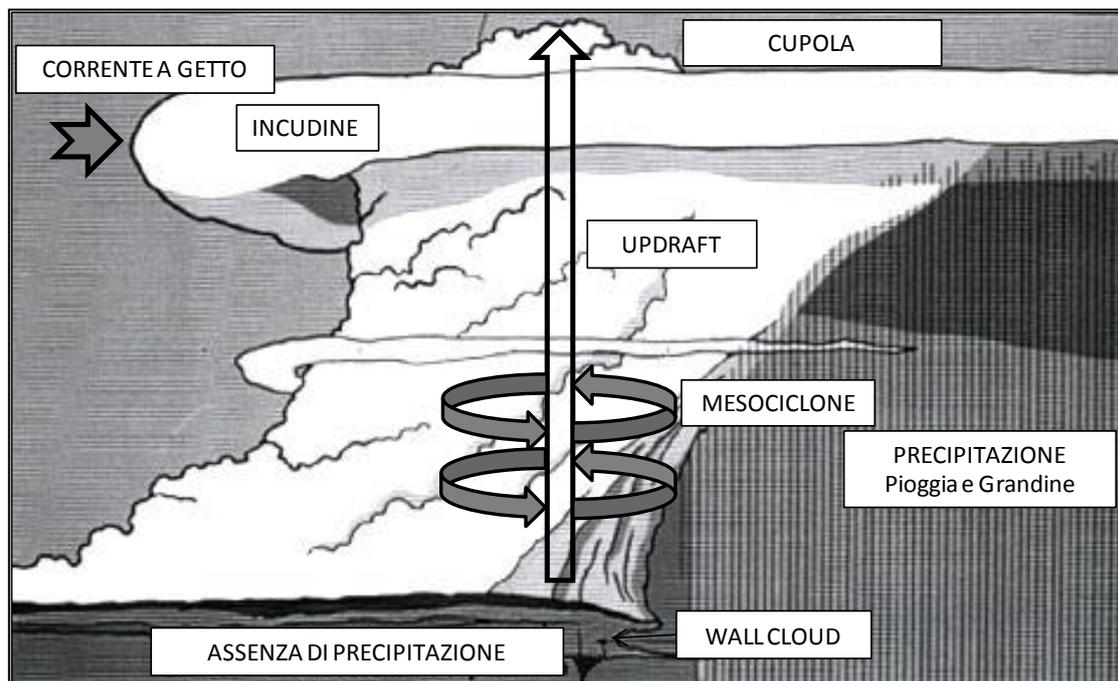


Figura 2. Struttura e caratteristiche principali di una Supercella temporalesca

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, tralicci 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.

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).

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.

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.

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 danno² (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.

² Vedi Appendice A

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.

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'emettitore 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.

In Italia le stazioni che effettuano il radiosondaggio sono sette distribuite su tutto il territorio nazionale e gestite e mantenute dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Nazionale ad esclusione di quella di San Pietro Capofiume (BO) gestita dall'ARPA Emilia Romagna.

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 SWEAT³ (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'innescio 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.

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

³ Vedi Appendice B

(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 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 aria 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.

1.5.1 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 la caratterizzazione del territorio della Sardegna, sulla base del numero di eventi di tornado occorsi negli anni è stato considerato come fonte principale:

- European Severe Weather Database.

EUROPEAN SEVERE WEATHER DATABASE

L' "European Severe Weather Database" (www.eswd.eu) è una banca dati che raccoglie, per tipologie, gli eventi meteorologici occorsi in tutta Europa. È stato possibile individuare gli eventi di tornado che hanno interessato la Sardegna dal 1980 al 2013, alcuni dei quali classificati con la scala Fujita. Il numero totale di eventi segnalati risulta di 15, la quasi totalità dei quali è risultato di breve durata ed intensità.

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.

Annesso 6 – Analisi Rischio NATECH

#	Data	Luogo	Descrizione/Report (European Severe Weather Database)				
			Intensità	Lunghezza/ larghezza	Durata	Feriti/ morti	Riferimenti e descrizione
1	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 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
2	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.
3	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. 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.
4	04/12/2011	Alghero (SS)	--	--	5 min.	--	Based on: information from : photo or video of the event a report on a website. Video waterspout tornado Alghero: http://www.youtube.com/watch?v=gA0lpJ6MLNg ;
5	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 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 .
6	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. 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 .
7	19/05/2010	Perfugas (SS)	F1	--	--	--	Based on: information from : photo or video of the event a report on a website. Tornado in Sardinia, Perfugas, Sassari. Forum link: http://forum.meteonetwork.it/showthread.php?p=1058250721#post1058250721 .
8	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. Foto available http://www.flickr.com/photos/mari4ever/4019417004 . Duration confirmed from an interview with the author (Marinella Boschi).
9	15/09/2006	Stintino (SS)	--	--	--	--	based on: information from : photo or video of the event a report on a website. Link foto: " http://farm3.static.flickr.com/2511/4175194094_099d16c163.jpg ".

Annesso 6 – Analisi Rischio NATECH

#	Data	Luogo	Descrizione/Report (European Severe Weather Database)				
			Intensità	Lunghezza/ larghezza	Durata	Feriti/ morti	Riferimenti e descrizione
10	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. tornado was observed. It partly occurred over the beach, partly over the sea;
11	11/09/2005	Carloforte (CI)	--	--	--	--	Based on: information from : a report by a weather service a report in scientific literature a report on a website. 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 .
12	29/08/2005	Bari Sardo (OG)	--	--	--	--	Based on: information from : a report by a weather service a report in scientific literature a report on a website. 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
13	24/07/1999	Platamona (SS)	F1	--	--	--	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. http://www.meteosardegna.it/news/read.php?id=90 .
14	02/01/1980	Perdaxius (CI)	F2	--	--	--	Based on: information from : a newspaper report. Tornado hit area of Perdaxius, ripping solid olive trees off the ground and throwing them several meters; source: "Tromba d'aria nel Cagliaritano", LA STAMPA, 03 JAN 1980.
15	02/01/1980	Santa Giusta (OR)	--	5 km/--	--	--	Based on: information from : a newspaper report. Tornado hit area of Canale di Pesaria and Santa Giusta town; damage; source: "Prigionieri della bufera in Barbagia", L'UNITÀ, 04 JAN 1980.

Tabella 3. Tornado Regione Sardegna 1980-2013 -ESWD

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 14 eventi segnalati non hanno raggiunto intensità ragguardevoli, o non sono stati classificati.

In sintesi, negli anni 1980-2013 in base alla fonte, l'intensità dei tornado in Sardegna può essere così rappresentata:

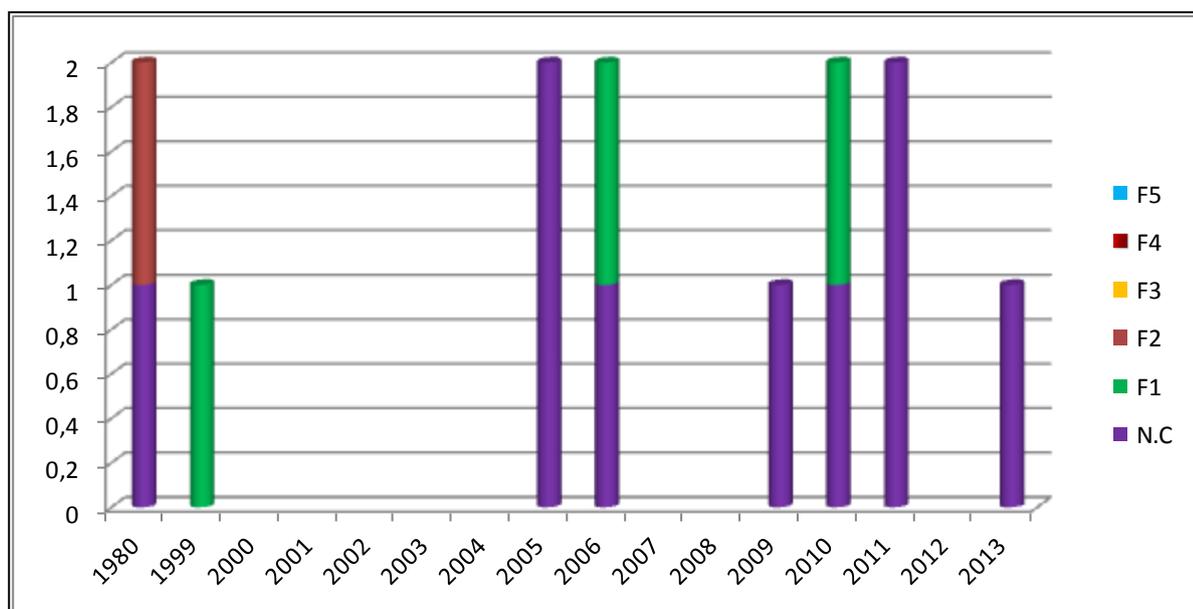


Figura 3. Tornado in Sardegna nel periodo 1980-2013 - ESWD

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 verificati.

Da un punto di vista di distribuzione, per quanto siano fenomeni di difficile caratterizzazione ed inquadramento territoriale, si osserva nella figura seguente come i tornado registrati nel database si siano distribuiti uniformemente lungo l'intera fascia costiera regionale senza interessare la parte interna che per caratteristiche morfologiche del territorio risulta pressoché esclusa da tale fenomenologia di eventi.



Figura 4. Distribuzione dei tornado in Sardegna nel periodo 1980-2013 - ESWD

1.6 NORMATIVA ITALIANA

1.6.1 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. In via generale per la determinazione di tali azioni la normativa prevede la primaria determinazione di tre parametri:

- la velocità base di riferimento del vento v_{ref} (m/s): definita come il valore della velocità media del vento su un intervallo di tempo di 10 minuti del vento, misurata a 10 m dal suolo, su un terreno di II Categoria di esposizione in base a una apposita classificazione. È associata a un periodo di ritorno $TR = 50$ anni, corrispondente a una probabilità (sfavorevole) del 2% di essere superata in un anno;

- la pressione cinetica di riferimento esercitata dal vento q_{ref} (N/m²): direttamente legata alla velocità di riferimento dalla formula: $q_{ref} = v_{ref}^2/1600$;
- la velocità di riferimento di progetto v_r (m/s): definita come il valore della velocità media del vento su un intervallo di tempo $T=10$ minuti, a 10 m di altezza sul suolo, su un terreno di II Categoria di esposizione in base a una apposita classificazione, riferito al periodo di ritorno di progetto T_R . È collegata alla v_{ref} dalla seguente formula: $v_r = v_{ref} \cdot C_r$ dove C_r è il Coefficiente di ritorno⁴.

Il territorio italiano è stato suddiviso in nove zone per differenti velocità base di riferimento. La Sardegna risulta suddivisa in due zone:

- zona 5 - ad oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola di Maddalena - v_{ref} 28 m/s,
- zona 6 - ad occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola di Maddalena - v_{ref} 28 m/s,

che presentano la stessa velocità base di riferimento di 28 m/s e differiscono per altri parametri collegati al territorio.

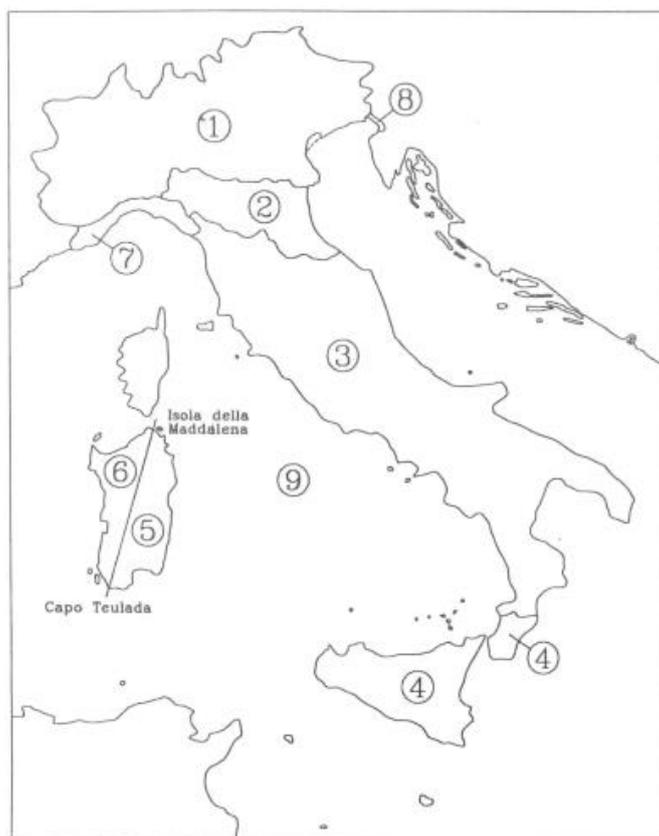


Figura 5. Zone caratterizzate da diversi valori della velocità di base di riferimento

⁴

Per un periodo di ritorno di 200 anni (applicato alle costruzioni di importanza strategica) C_r assume il valore di 1,125

1.6.2 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, abbinata 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.

1.7 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);
- FEMA⁵ 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 (Figura seguente);
- 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.

⁵ US Federal Emergency Management Agency (FEMA)

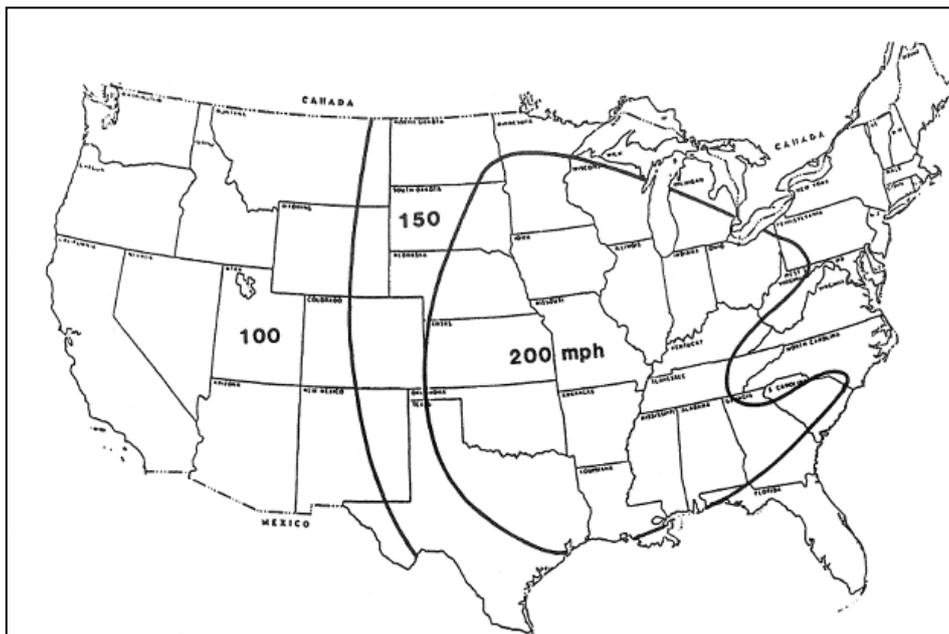


Figura 6. Velocità venti di tornado correlati con una probabilità annua di accadimento di 10^{-5}

1.8 VALUTAZIONE DEL RISCHIO

1.8.1 Generalità

Una valutazione quantitativa di rischio, condotta secondo i canoni classici su uno stabilimento od un sito industriale a rischio di incidente rilevante, esige i seguenti passaggi:

- A. Determinazione delle caratteristiche dello scenario di danno di riferimento all'interno del sito, legato ai seguenti fattori:
 1. frequenza/probabilità generica di un tornado interessante l'area del sito;
 2. probabilità differenziate per le caratteristiche di intensità attribuibili;
 3. stima delle dimensioni dell'impronta a terra e del percorso nel sito, in termini statistico-probabilistico.
- B. Valutazione degli effetti (danni) agli impianti ed alle strutture.

Negli Stati Uniti, dove il fenomeno dei tornado è mantenuto sotto osservazione (e registrazione) da molti anni, dato il numero di casi anche drammatici, è stato costruito un ampio database storico, con inizio dal 1950 e successivamente ampliato dal 1994, che ha consentito l'elaborazione di modelli previsionali probabilistici per quanto riguarda i punti A.1) ed A.2) di cui sopra sia pure in termini di area ampia regionale. Per quanto concerne il punto A.3), lo studio del probabile percorso interessante l'area di uno specifico sito industriale appare ancora impossibile, almeno allo stato dell'arte. La valutazione dei danni attesi è comunque affidata alla stima dell'intensità del tornado, utilizzando la scala EF Fujita. Nella figura seguente si riporta una sintesi storica sulla distribuzione dei tornado negli USA in base alla loro intensità.

EF Number	Wind Speed (mph)	% of US Tornadoes ¹
0	65-85	62.2
1	86-110	26.5
2	111-135	8.0
3	136-165	2.6
4	166-200	0.58
5	200+	0.04

¹1991-2010, Data Source: NOAA

Figura 7. Distribuzione storica dei tornado negli Stati Uniti nel periodo 1991-2010 (Fonte NOAA – USA, tratto da Frank Lombardo et al., Joplin Tornado Study, Briefing for NCST Advisory, 2011)

In altri termini, le capacità previsionali risultano in prevalenza indirizzate ad individuare le aree maggiormente critiche, ovvero zone territoriali in cui in tornado può assumere caratteristiche tali da generare danni gravi e/o catastrofici per la popolazione e per alcune strutture particolari (impianti nucleari, laddove presenti), al fine di predisporre, sia in termini preventivi (rifugi) che di contenimento (strutture di soccorso ed organizzazione di intervento), le misure da adottare in previsione di una probabile emergenza.

Ciò che rende un tornado unico tra tempeste di vento è l'intenso gradiente di velocità e direzione del vento che può essere trovata nella maggior parte dei tornado. Chiaramente, un tornado è vento in forte rotazione, ma quando gli oggetti sono molto più piccoli del tornado, la rotazione di tale flusso d'aria non è generalmente apparente.

La rotazione e il movimento del vortice comportano che le strutture e la vegetazione nel percorso verranno a sperimentare tipicamente variazioni sia della velocità del vento che della direzione.

1.8.2 Carico del vento

Nelle costruzioni ordinarie, il peso di una struttura è generalmente il carico dominante. Quando il vento non supera le soglie previste dal codice di progettazione, la struttura è in grado di resistere alla pressione del vento, senza cedimenti strutturali.

Quando un tornado interagisce con le strutture, i carichi possono raggiungere valori maggiori dell'ordinario, e alcuni cedimenti strutturali possono iniziare. Per strutture deboli, questo potrebbe avvenire a partire da velocità del vento come quelle associate alla categoria EF1 sulla scala Fujita.

Con strutture più resistenti (come in generale gli impianti industriali) sono necessarie condizioni di intensità del tornado, tanto maggiori quanto sono maggiori la stabilità e resistenza strutturale.

1.8.3 Sollevamento

Un importante contributo di danno in un tornado è la forte accelerazione verticale con il movimento verticale verso l'alto vicino alla superficie, spinto dal campo di pressioni dello stesso tornado.

Questo è l'effetto "ventosa" associato al tornado che si pone in contrasto con l'ordinario carico gravitazionale delle strutture, comportando, in relazione al livello di intensità, il sollevamento di oggetti ed elementi strutturali in aria. Sebbene la maggior parte delle costruzioni sia progettata per resistere agli effetti ordinari di carico di

gravità verso il basso, la sua progettazione può essere sostanzialmente meno efficace nel resistere a carichi verticali in senso opposto.

Anche in questo caso i vincoli strutturali e l'ancoraggio in profondità a fondazioni solide può richiedere intensità di tornado assai più elevate per iniziare i cedimenti.

1.8.4 Forze orizzontali

Oltre alle forze di sollevamento associate alla distribuzione della pressione del tornado stesso, il vento orizzontale crea forze di pressione dinamica del vento con la generazione di campi di velocità variabile (rallentamenti su pareti verticali ed accelerazione successiva su tetti orizzontali).

Al di là del carico dinamico del vento generato sulle superfici verticali di impatto, il flusso d'aria orizzontale interagendo con la struttura, può aumentare le forze di sollevamento esercitate sul tetto dal campo di pressione del tornado, facilitandone l'asportazione, parziale o totale, in relazione alla intensità del tornado.

Strutture labili o generalmente ancorate in maniera precaria al terreno possono subire tali effetti anche a livelli di intensità minori (tornado deboli EF0-F1).



Figura 8. Esempio concreto di una struttura industriale (serbatoio sopraelevato di acqua) rimasta indenne nel mezzo di una zona di strutture residenziali distrutte da un tornado

1.8.5 Proiezione di oggetti

In relazione al tema degli oggetti sollevati da terra e proiettati (cosiddetti "missiles"), la formulazione della scala Fujita individua la presenza di oggetti leggeri lanciati in aria con sufficiente violenza quando il tornado entra nella categoria EF3. Per quanto concerne oggetti di massa significativa appoggiati sul terreno (es.: automezzi), ricerche più recenti individuano nelle categorie EF4-F5 le condizioni minime necessarie per trasformarli in proiettili, mentre un tornado EF2-F3 potrebbe essere in grado di ribaltare occasionalmente veicoli.

1.8.6 Cambi improvvisi di direzione

I tornado, per la loro stessa natura, possono essere soggetti ad andamenti erratici, con cambi di direzione e percorso improvvisi ed imprevedibili.



Figura 9. Tracce sul terreno di un cambio improvviso di direzione del tornado– USA, Iowa 1999

1.8.7 Preallarme di tornado

Va rilevato che l'esperienza accumulata negli Stati Uniti ha da tempo generato un sistema diffuso, anche se non imposto o regolato da norme federali, di pre-allarme (Early Warning) rivolto alla popolazione minacciata da fenomeni di tornado in atto⁶.

⁶ Esiste una Linea Guida nazionale (Federal Guidance on outdoor warning systems - FEMA 1980, 2006) per assistere le amministrazioni locali che intendono attuare un sistema di preallarme. L'analisi del catastrofico tornado di Joplin (USA, Missouri, 2011) ha tuttavia rilevato significative carenze nelle misure preventive per la gestione della emergenza da tornado di elevata intensità, in una area ben nota per le frequenza dei fenomeni.

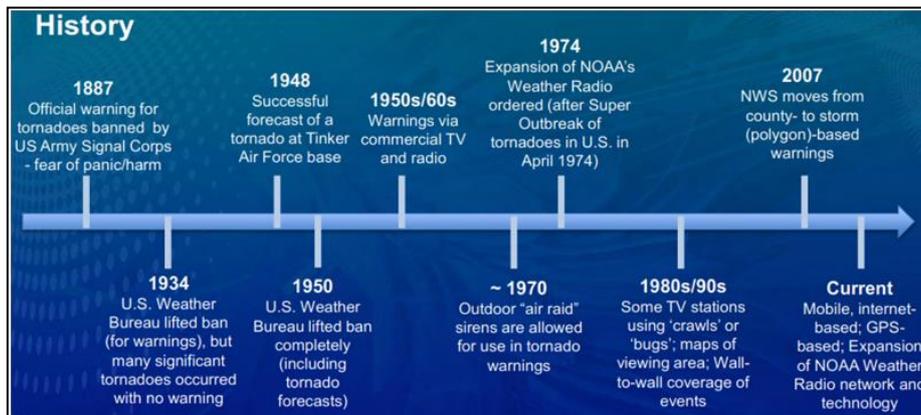


Figura 10. Sintesi storica sulle modalità di preallarme esistenti negli USA (fonte: Frank Lombardo et al., Joplin Tornado Study, Briefing for NCST Advisory, 2011)

1.9 IMPOSTAZIONE E ANALISI

In estrema sintesi, alla luce di quanto esposto in precedenza e dello stato dell'arte, a livello sia nazionale che internazionale, risulta non praticabile un approccio quantitativo alla analisi di rischio di uno stabilimento a rischio di incidente rilevante, in grado di conseguire risultati accettabili, con la necessaria fondatezza metodologica e replicabilità. La base storica dei dati, che peraltro utilizza scale di misura differenti, non fornisce elementi affidabili per una valutazione predittiva della probabilità di tornado sull'area in esame, sulla sua intensità ed ampiezza. Non sono disponibili criteri referenziati per la valutazione predittiva dei danni eventuali sulle strutture di un impianto chimico, una volta determinata l'intensità del tornado, se non qualitativi e fondati sulla scala Fujita, certamente non idonea per una analisi di dettaglio su elementi di impianto. I dati fin qui riportati indicano solo alcune generiche condizioni di base:

- La Sardegna risulta soggetto al fenomeno dei tornado di intensità bassa, presumibilmente collocabile nei livelli EF0-EF1 con estensione in rari casi al grado EF2.
- In generale la velocità di traslazione generica di un tornado è compresa tra i 50 ed i 100 km/h.
- in base alla bibliografia specialistica, il passaggio di un vortice in un punto del percorso in media dura pochi secondi (da 5 a 10).
- In base alla bibliografia specialistica, l'ampiezza della fascia di maggior danno del tornado può essere delimitata in circa 150m per i tornado di classe EF3⁷.

Lo studio pertanto si è indirizzato a qualificare e specificare gli elementi/strutture di impianto maggiormente soggetti ai possibili danni, anche per mezzo di analogie con tecniche ordinariamente adottate nella analisi di rischio, individuando nella sovrappressione dinamica generata dalla raffica "breve" del vortice il principale vettore di impatto praticamente calcolabile. Il confronto intende fornire, nei limiti del numericamente possibile, indici di danno, anche parziali, al fine di costruire una valutazione qualitativa. Sul tema della probabilità dei danni, ovvero

⁷

On the Relationship of Tornado Path Length and Width to Intensity - Harold E. Brooks NOAA/National Severe Storms Laboratory, Norman, Oklahoma 2003.

sulla definizione e frequenza degli scenari di tornado impattanti sugli elementi e strutture di impianto, si è proceduto ad valutazione qualitativa che tiene conto dell'esperienza storica disponibile e del numero, collocazione e caratteristiche degli elementi vulnerabili.

1.9.1 Intensità prevista del tornado

Le evidenze storiche riferite all'intera Regione Sardegna fanno supporre come l'intensità di un eventuale tornado possa collocarsi entro la classe EF2 (grado raggiunto in un solo caso).

1.9.2 Sovrappressioni dinamiche

La pressione dinamica su una parete investita da vento alla velocità v (m/s) può essere calcolata dall'espressione: $P_{Din} = \frac{1}{2} \cdot \rho v^2$, nella quale:

P_{Din} = Pressione dinamica Pa (N/m²);

ρ = Densità aria (kg/m³), considerata pari a 1,225 kg/ m³ (livello del mare);

v = Velocità del vento (m/s).

In relazione alla intensità dei tornado, come definita dalla Scala Fujita, le sovrappressioni dinamiche dovute alla velocità del vento, impattante su una superficie ortogonale alla sua direzione, sono così calcolabili:

Grado EF	Velocità max. del vento km/h	Sovrappressione dinamica		Livello di danno
		kPa	bar	
EF1	175	1,50	0,015	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	220	2,30	0,023	Danni considerevoli. Tetti strappati dalle case; case mobili demolite; autorimesse abbattute; grossi alberi spezzati; oggetti leggeri proiettati dal vortice come missili.
EF3	269	3,41	0,034	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	320	4,85	0,048	Case ben costruite livellate; strutture con fondamenta deboli fatte volare a breve distanza; automobili scaraventate via; grandi missili vengono generati.
EF5	oltre i 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.

Figura 11. Correlazione tra le intensità dei tornado e le sovrappressioni dinamiche generate sulla superficie impattata

1.9.3 Effetti previsti per le strutture di impianto

La complessità delle dinamiche innescate da un tornado fa sì che siano difficilmente quantificabili le risultanze combinate delle forze applicate e rende di difficile previsione i conseguenti danni alle apparecchiature ed altre strutture di un deposito di prodotti petroliferi.

La scala EF, la più recente ed utilizzata ma da alcuni esperti ritenuta tuttavia ancora approssimativa⁸, fonda la classificazione dei tornado su una vasta esperienza di indagine, condotta negli Stati Uniti, sui danni provocati a strutture ed edifici civili, mentre non sono considerate apparecchiature di impianto, quali i serbatoi di stoccaggio per i prodotti petroliferi.

In assenza di tali riferimenti e di altri dati bibliografici che possano fornire indicazioni attendibili o comunque referenziate sui prevedibili danni causati da tornado di differente intensità su strutture ed apparecchiature di impianto, quali i serbatoi di stoccaggio, si possono fare solo alcune stime di massima che valutino la vulnerabilità generica di tali strutture. In particolare sono stati considerati, come riferimento ipotetico di danno, i criteri del TNO (The Netherlands Organization of Applied Scientific Research) utilizzati per la valutazione di possibili danni, sia alle persone che alle strutture, derivanti da esplosioni.

Si riportano a tale proposito due tabelle di correlazione tra le pressioni dinamiche esercitate da un'onda d'urto provocata da un'esplosione, con i vari livelli di danno attesi per alcune strutture di impianto.

Zone	Livelli	Pressione dinamica superiore a:	
		kPa	bar
A	Distruzione Totale	83	0,83
B	Gravi danni	35	0,35
C	Danni moderati	17	0,17
D	Danni lievi	3,5	0,035

Descrizione del danno	Pressione dinamica	
	kPa	bar
Collasso del tetto di un serbatoio di stoccaggio	7	0,07
Danni minori alle strutture in metallo, p tra	7	0,07
	10	0,1
Leggera deformazione del pipe-rack, p tra	20	0,2
	30	0,3
Grandi alberi sradicati, p tra	20	0,2
	40	0,4
Rottura o collasso palo linea telefonica	35	0,35
Danni ad una colonna di frazionamento, p tra	35	0,35
	80	0,8
Dislocamento di un serbatoio cilindrico e rottura del piping, p tra	50	0,5
	100	1
Collasso delle strutture di supporto di serbatoio cilindrico	100	1

Figura 12. Correlazione tra pressioni esercitate da onde d'urto generate da esplosioni ed i danni attesi - alcuni esempi (Fonte TNO - Green Book)

8

TORNADO INTENSITY ESTIMATION: Past, Present, and Future by Roger Edwards et Al., American Meteorological Society, 2012

La sola sovrappressione dinamica generata dal vento del tornado impattante sulla superficie esposta (carico vento aggiuntivo), in confronto con i limiti generalmente presi per quella generata da una onda di pressione conseguente ad una esplosione, rimane nell'ambito dei "danni lievi" previsti dal TNO per le apparecchiature e le strutture di impianto.

A giustificazione della differenza riscontrata fra i criteri di valutazione dei danni, assai considerevole per i livelli alti di classificazione EF, anche considerando la generale "solidità" e resistenza degli impianti industriali, si possono ragionevolmente portare alcuni elementi:

- la diversa energia in gioco e la durata della sovrappressione (assai maggiori nel tornado);
- la presenza di fenomeni concorrenti all'incremento dei danni, come correnti ascendenti, sollevamenti, forze orizzontali e proiettili.

La complessità delle dinamiche innescate da un tornado quindi fa sì che siano difficilmente quantificabili le risultanze combinate delle forze applicate e rende di difficile previsione i conseguenti danni alle apparecchiature ed altre strutture di impianto, data anche l'assenza di riferimenti e di altri dati bibliografici che possano fornire indicazioni attendibili o comunque referenziate.

1.10 VALUTAZIONI PROBABILISTICHE

1.10.1 Frequenza generale di accadimento nella regione Sardegna

La Sardegna ricopre una superficie di 24.090 km²

In base ai dati riportati all'interno del European Severe Weather Database è possibile effettuare una stima realistica del numero di eventi di tornado che hanno colpito la regione Sardegna nel periodo dal 1980 al 2013.

Nel periodo considerato, si sono verificati 15 tornado.

È stata valutata quindi la frequenza con la quale un tornado di qualsiasi intensità possa verificarsi in una area indifferenziata del territorio.

La frequenza è stata calcolata come segue:

$$\frac{n}{t} / A$$

con:

n (Numero di eventi considerati nel periodo) = 15;

t (Periodo di tempo considerato) = 34 anni;

A (Area di riferimento complessiva) = 24.090 km².

Da tale equazione, la frequenza generica di eventi all'anno per km² della Sardegna risulta di $1,83 \cdot 10^{-5}$ Eventi/anno per km²

La quasi totalità di tali eventi è risultata di intensità non significativa, solo in un caso è stato raggiunto il grado EF2.

Pur stimando, sulla base del presente studio, i tornado con intensità $\geq EF3$ come eventi in grado di causare danni significativi alle strutture di stabilimento in precedenza considerate come critiche, si è proceduto a calcolare la frequenza per tornado EF2 (massimo grado raggiunto storicamente).

La frequenza che ne deriva è la seguente:

$$1,22 \cdot 10^{-6} \text{ Eventi } \geq EF2/\text{anno per km}^2 \text{ con}$$

Numero di eventi $\geq EF2$ considerati nel periodo = 1.

1.10.2 Frequenza area impianto

Per valutare l'area di maggior impatto prevedibile, si è considerato un tornado che abbia una ampiezza di 150m e percorra in tutta la sua lunghezza, in direzione N-S, il Deposito per una superficie totale di $0,0675 \text{ km}^2$ (v. figura seguente).



Figura 13. Area di impatto individuata per il Deposito IVI Petrolifera

Si è quindi proceduto a calcolare la frequenza di impatto di un tornado di intensità EF2 per la superficie individuata. La frequenza attesa risulta:

$$1,22 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0675 = 8,24 \cdot 10^{-8} \text{ Eventi F2/anno.}$$

Pur avendo cautelativamente considerato l'intera estensione del Deposito Costiero come bersaglio ($0,0675 \text{ km}^2$) e non solamente le nuove installazioni previste dal progetto di ampliamento del Deposito, la frequenza dell'evento risulta, in base ai criteri normalmente in uso nella analisi di rischio, non credibile.

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 GENERALITÀ

La superficie libera del mare è in continuo movimento rispetto alla superficie orizzontale di equilibrio che costituisce il livello medio del mare.

Le onde possono essere provocate da scambi energetici di varia natura:

1. Azione del vento;
2. Azione delle maree;
3. Esplosioni sottomarine;
4. Movimenti tettonici.

L'onda si muove attraverso l'acqua, lasciando l'acqua stessa nella stessa posizione circa.

Un'onda marina che passa attraverso una colonna d'acqua profonda fa sì che una particella d'acqua sulla superficie si muova descrivendo un'orbita quasi circolare, trascinando la particella prima verso l'onda che avanza, poi in avanti con essa, poi, quando l'onda si lascia dietro la particella, indietro al punto di partenza.

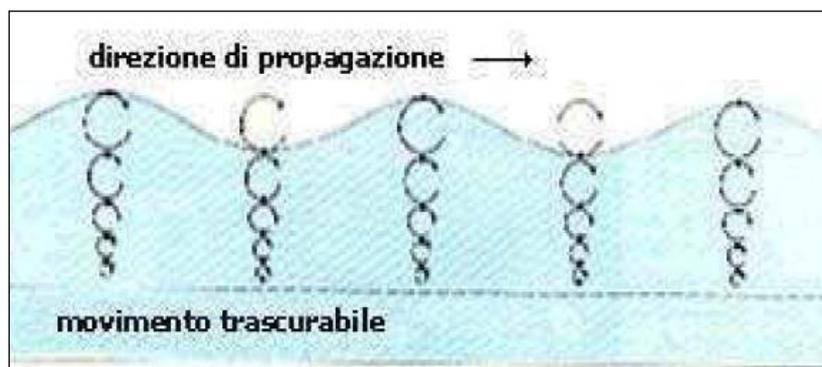


Figura 14. F Il moto delle particelle nell'onda.

<http://spazioinwind.libero.it/binophone/Meteorologia%20&%20Oceanografia/Onde%20marine.pdf>

Il raggio dell'orbita circolare delle particelle d'acqua si riduce con la profondità.

In un mare sufficientemente profondo, tutte le particelle di acqua soggette al movimento descrivono traiettorie circolari con centro fisso e velocità angolare costante.

Il modello più semplice per descrivere la propagazione del moto ondoso è il modello dell'onda trocoidale.

Il moto trocoidale è il moto composto di un punto posto su una circonferenza che rotola in avanti con moto rettilineo uniforme. Il centro della circonferenza si muove di moto rettilineo uniforme, mentre il punto sulla circonferenza descrive il moto trocoidale.

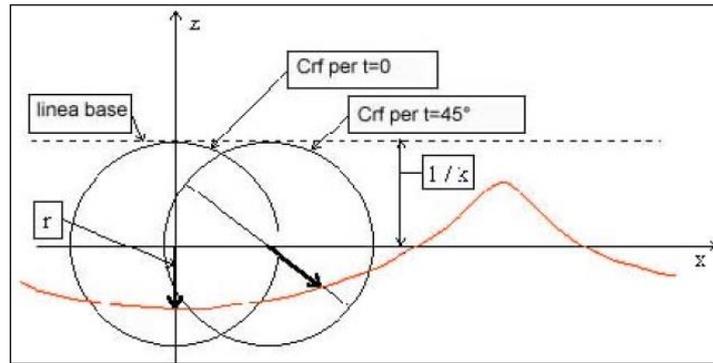


Figura 15. Il moto troicodale.

<http://spazioinwind.libero.it/binophone/Meteorologia%20&%20Oceanografia/Onde%20marine.pdf>

Le onde si formano ad una certa distanza dalla costa, si accrescono e si rompono in prossimità della riva. Al largo, i fronti d’onda formano un certo angolo con la costa; man mano che si avvicinano alla terra ferma, però, le creste si dispongono parallelamente alla costa (rifrazione) e si trasformano in frangenti. La zona di frangimento, cioè la fascia marina entro la quale le onde si rompono, è indicatrice della profondità dell’acqua: se il fondale è fortemente inclinato si hanno onde di piccole dimensioni che frangono sulla riva; nel caso di fondali debolmente degradanti le onde si rompono più al largo.

Anche se l’onda si sposta verso la riva, le particelle d’acqua che la costituiscono si muovono secondo orbite approssimativamente circolari. In prossimità della costa le orbite delle particelle superficiali sono ancora circolari, ma quelle descritte dalle particelle dei livelli d’acqua più profondi diventano ellittiche, fino a non potersi più muovere in senso verticale. Le onde diventano più alte e più ripide, fino a rompersi in avanti.

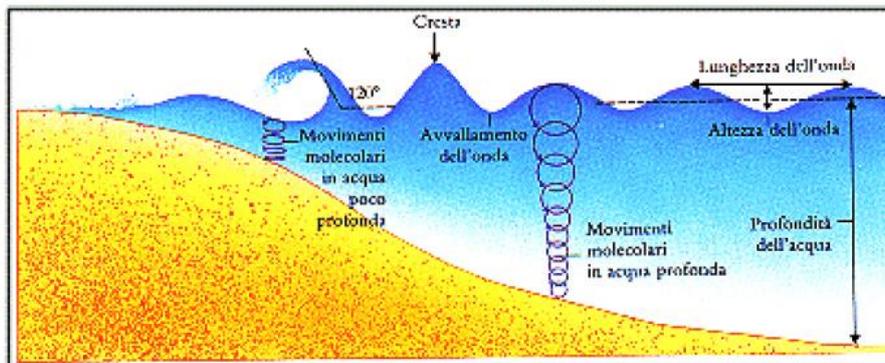


Figura 16. Zona di frangimento

<http://spazioinwind.libero.it/binophone/Meteorologia%20&%20Oceanografia/Onde%20marine.pdf>

2.2 ONDE GENERATE DAL VENTO

Le onde legate a processi meteorologici sono dette onde di vento e si originano per effetto dell'azione del vento sulla superficie dell'oceano. I principali parametri per la misurazione delle onde sono riconducibili ai seguenti:

- Lunghezza (L): Distanza tra due creste d'onda successive;
- Altezza (H): Distanza tra la Cresta e il Cavo dell'onda;
- Ampiezza (A): Altezza dell'onda sulla linea di mare calmo (in genere $\frac{1}{2}$ dell'altezza d'onda);
- Cavo: Punto più basso dell'onda;
- Velocità di Propagazione (c): Spazio percorso nell'unità di tempo;
- Periodo: Tempo impiegato dall'onda per percorrere lo spazio di una lunghezza d'onda;
- Ripidità ($\delta=H/L$): dalla ripidità dipende il frangersi dell'onda;

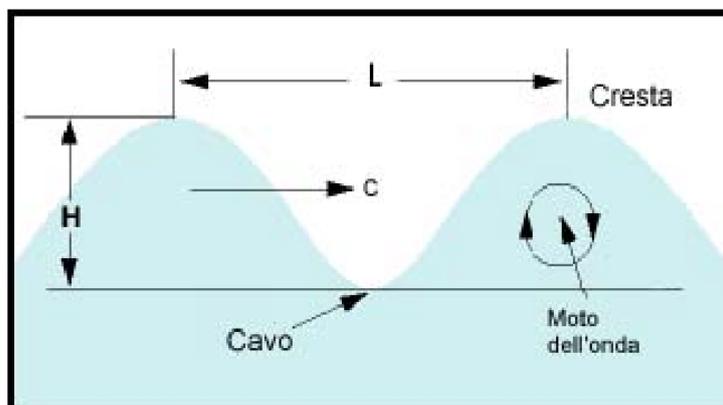


Figura 17. Principali parametri delle onde

<http://spazioinwind.libero.it/binophone/Meteorologia%20&%20Oceanografia/Onde%20marine.pdf>

Le caratteristiche del moto ondoso sono così definibili:

- **Mare Lungo:** È definito mare lungo il moto ondoso proveniente da zone lontane di burrasca (onde lunghe) o da quelle ancora residue sulle acque su cui ha soffiato un vento molto forte (onde morte). È caratterizzato da onde simili tra loro, con parametri pressoché costanti, riconducibili ai seguenti
- **Mare Vivo:** È definito il moto ondoso generato direttamente dal vento in azione nella zona di mare osservata o nelle immediate vicinanze. È caratterizzato da onde diverse tra loro e si può pertanto rappresentare e descrivere soltanto attraverso parametri di tipo statistico. È contraddistinto dalle creste che si formano sulla cima dell'onda.
- **Onde di acqua profonda (onde corte):** si formano tipicamente in mare aperto, con profondità dell'acqua sottostante maggiore della metà della loro lunghezza d'onda. Tali onde presentano una velocità di propagazione che è proporzionale alla lunghezza d'onda, non risentendo dell'effetto di rifrazione del fondale.
- **Onde di acqua bassa (onde lunghe):** si formano tipicamente in presenza di fondali bassi, con profondità minore della metà della lunghezza d'onda; la velocità di propagazione dell'onda è condizionata dall'effetto di rifrazione del fondale: tanto più il fondale si abbassa, tanto la velocità di propagazione diminuisce.

Nell'avvicinarsi a riva, la resistenza del fondo provoca fenomeno della rifrazione e uno dei suoi effetti è quello di rallentare la velocità di propagazione, accorciare la lunghezza d'onda e aumentare l'altezza ("shoaling"). Questa sequenza di variazioni prelude al loro frangersi che avviene quando l'altezza delle onde sarà maggiore di un settimo della loro lunghezza; l'angolo massimo di profilo stabile della cresta di un'onda è quindi intorno ai 120 gradi. Riportiamo di seguito una tabella della scala Beaufort; scala che mette in correlazione la velocità del vento e l'altezza media delle onde:

Gradi Beaufort	Descrizione del Vento	Velocità Nodi	Altezza media Onde metri	Descrizione
0	calma	1	-	La superficie e' immobile
1	bava di vento	1 - 3	0,1	La superficie si increspa e sembra vibrare
2	brezza leggera	4 - 6	0,2 - 0,3	Cominciano a formarsi piccole onde
3	brezza tesa	7 - 10	0,5 - 1	Le onde sono ben definite e appare qualche rara cresta
4	vento moderato	11 - 16	1 - 1,5	Le creste bianche (ochette) sono frequenti
5	vento teso	17 - 21	2 - 2,5	Le onde si allungano e appare qualche spruzzo
6	vento fresco	22 - 27	3 - 4	Le onde sono grandi e con fronte definito, bianco
7	vento forte	28 - 33	4,5 - 5,5	La schiuma bianca in cima alle onde si rompe
8	burrasca	34 - 40	5,5 - 7	Le cime delle onde si rompono in spruzzi vorticosi
9	burrasca forte	41 - 47	7 - 9	Le creste delle onde rotolano impetuose
10	tempesta	48 - 55	9 - 12	Il mare appare bianco con schiuma ovunque
11	tempesta violenta	56 - 63	12 - 16	Onde eccezionalmente alte
12	uragano	64 - 71	+ 15	L'aria e' piena di acqua nebulizzata

Tabella 4. Scala Beaufort

2.3 ONDE ANOMALE

Sono onde solitarie estreme che arrivano ad altezze che raggiungono più di 2 volte l'altezza significativa del treno d'onde a cui appartengono; le cause della loro formazione sono ancora oggi oggetto di studio, una possibile motivazione è la coincidenza di due creste d'onda le cui energie combinandosi formano un'onda risultante che può essere molto più grande sia dell'una che dell'altra.

2.4 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.

2.5 METEOTSUNAMI

Si tratta di onde analoghe agli tsunami, originate da particolari condizioni meteorologiche e da un raro processo atmosferico. Fenomeno raro, ma comunque non rarissimo, riscontrabile in tutto il mondo (dal Giappone alla Nuova Zelanda, dalle isole Azzorre alle Kurili, dall'Irlanda ai Grandi Laghi americani) ed anche nel Mediterraneo, sia pure in situazioni molto particolari. Per lo sviluppo di un meteotsunami in sostanza sono necessari:

- un bacino di dimensioni limitate (porto, golfo, baia) ed in cui la lunghezza superi ampiamente la larghezza;
- repentine e sostanziose fluttuazioni della pressione atmosferica dovute ad una perturbazione, ad un fronte o ad un cambiamento nella direzione del vento;
- la trasmissione di energia per risonanza dall'atmosfera al mare e da questo alla costa (due combinazioni piuttosto rare da verificarsi);
- la direzione della perturbazione all'incirca coincidente con la direzione di massimo sviluppo del porto (più le due direzioni coincidono e maggiori risultano gli effetti).

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 5. Caratteristiche Onde generate dal vento/Tsunami

2.6 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 (Tinti *et al.*, 2001a). Il catalogo, ulteriormente aggiornato a seguito di studi recenti (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.

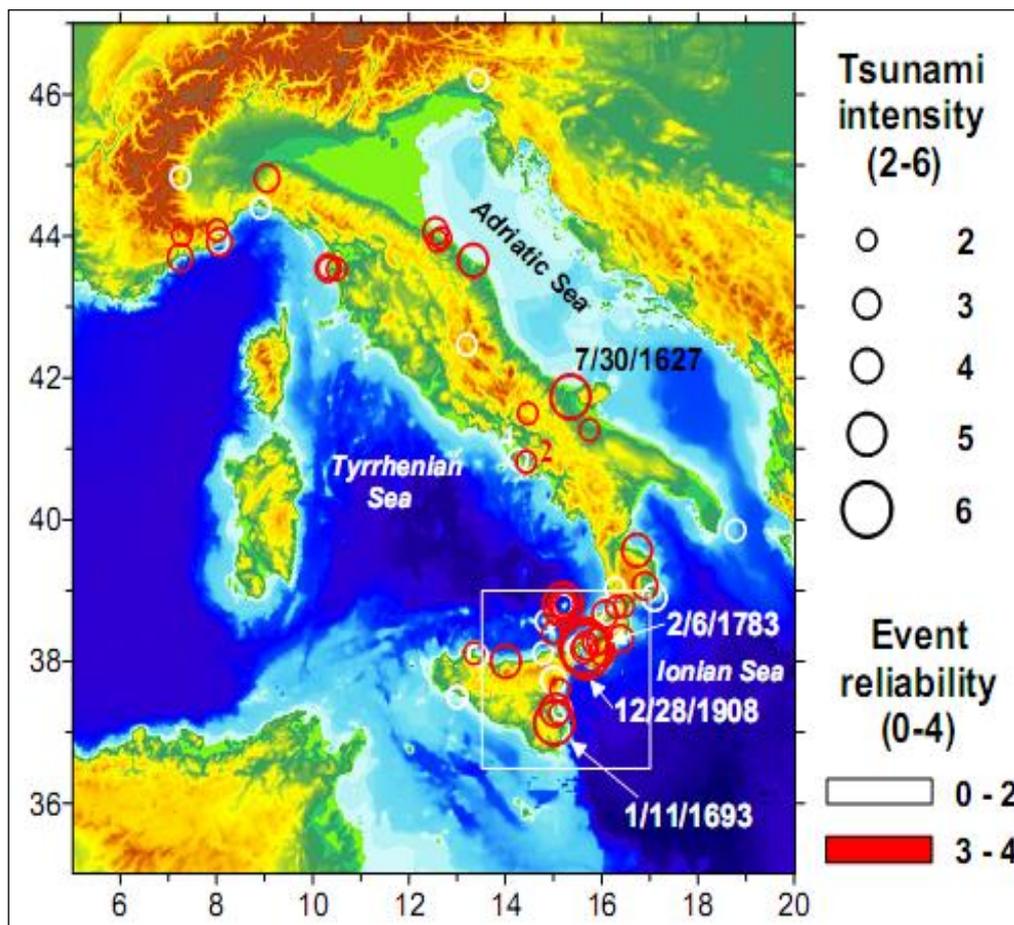


Figura 18. Distribuzione geografica dei maremoti italiani riportati per classi di intensità (scala Ambraseys-Sieberg) e per ripartizione di affidabilità.

Secondo R.Zecchi 2006, 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 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.

2.7 TSUNAMI NEL MAR MEDITERRANEO

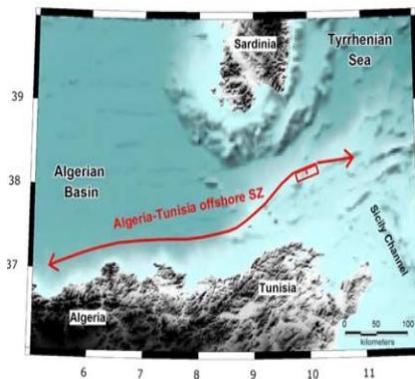
Nel 2008 è stato redatto da un gruppo di studio dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) uno studio dal titolo "Earthquake-generated tsunamis in the Mediterranean Sea: Scenarios of potential threats to Southern Italy" (Lorito et al., 2008) cui sono stati valutati, tramite simulazioni 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.

2.7.1 Tsunami da terremoti per le coste italiane del mar Mediterraneo

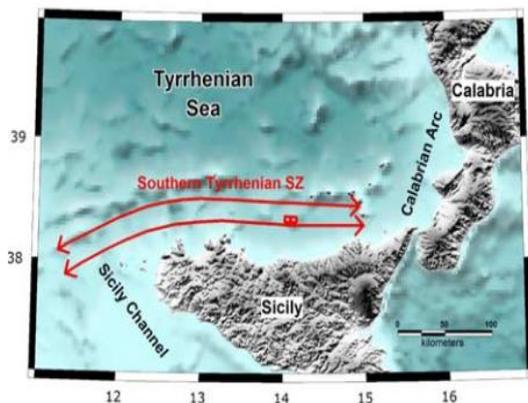
Lo studio individua 3 principali sorgenti sismogeniche (Database of Individual Seismogenic Sources DISS Working Group, 2007; Basili et al., 2008) in grado di generare tsunami lungo il bacino del mar Mediterraneo, prendendo come riferimento il terremoto massimo credibile per ciascuna zona.

Le 3 zone tsunami-geniche considerate sono le seguenti:

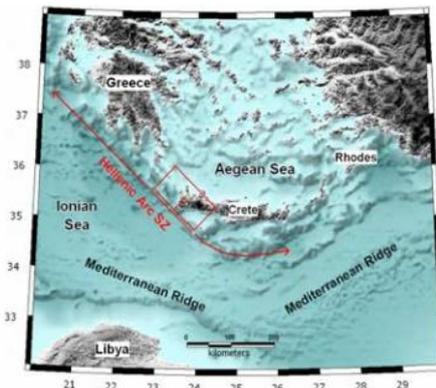
Algeria – Tunisia, mare aperto - In questa zona, che fa parte del sistema montuoso Tell-Atlas che si sviluppa in direzione E-O per l'intera lunghezza della costa Algerina, il terremoto più forte misurato è stato quello del 10 ottobre 1980, verificatosi nelle vicinanze di El Asnam (Algeria), di magnitudo 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 risultati 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 luogo a terremoti di magnitudo superiore a 8.0.



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 Oristano, riferimento per il Deposito Costiero, si trovi in corrispondenza del km 200.

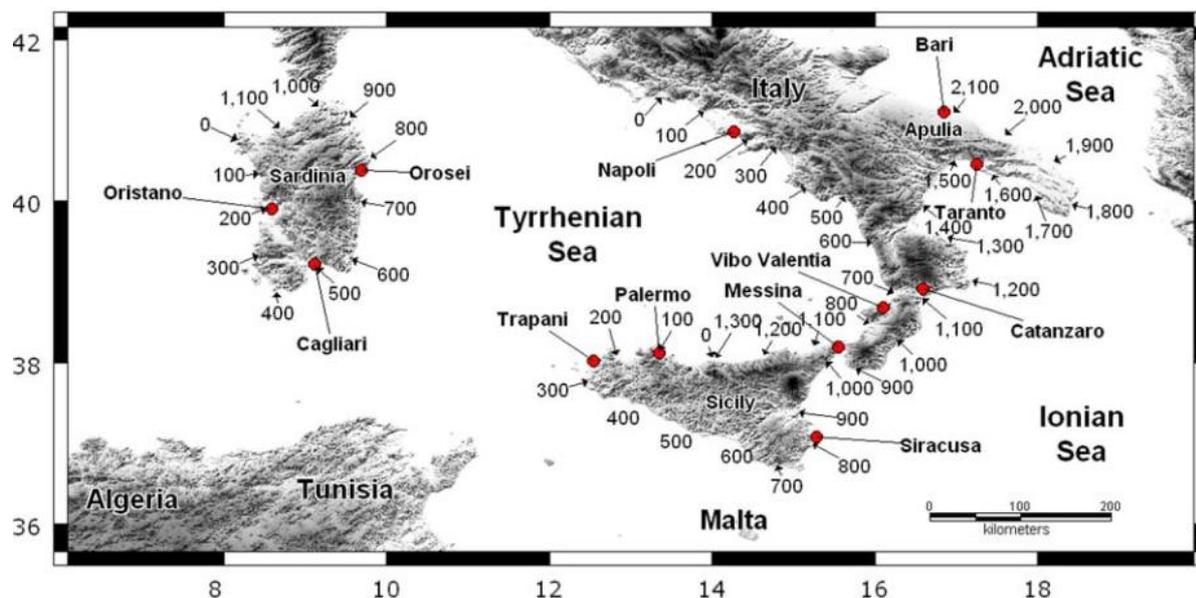


Figura 19. Zone bersaglio e suddivisione chilometrica delle coste (Lorito et al., 2008)

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 (Oristano km 200 asse delle ascisse).

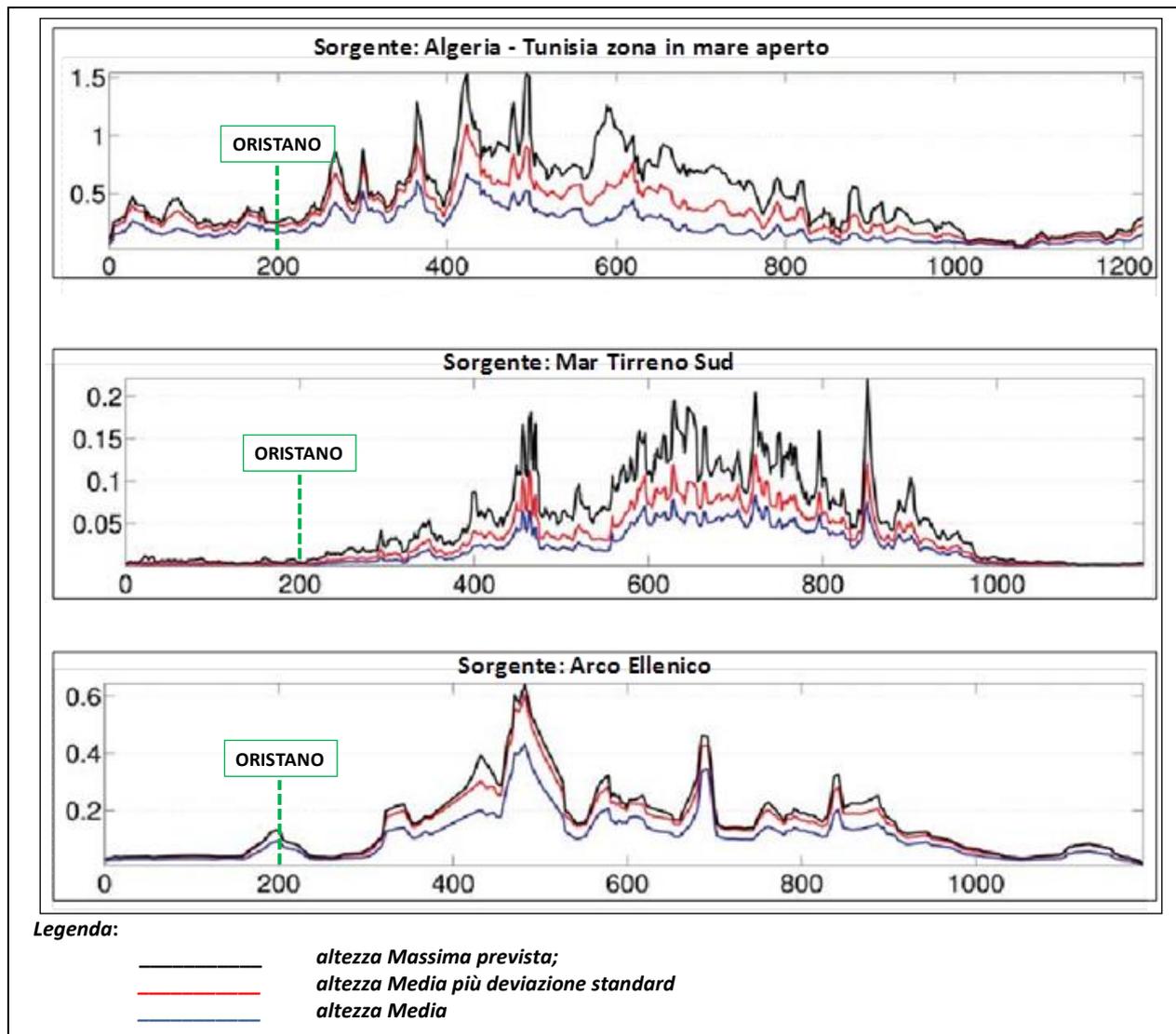


Figura 20. Profili di altezza d'onda attesa per le tre sorgenti considerate (Lorito et al., 2008)

La figura mostra come per Oristano (km 200 asse delle ascisse) l'altezza d'onda massima prevedibile sia di circa 0,3 m in relazione alla sorgente Algeria-Tunisia, mentre per le altre zone sorgente le altezze d'onda previste risultano minori e poco significative.

2.7.2 Valutazione conseguenze

È possibile fare una generica valutazione delle potenziali conseguenze che tali onde possono avere sulle apparecchiature del Deposito Costiero, in particolare per i serbatoi di stoccaggio.

Sulla base di *curve di fragilità* disponibili in letteratura, nate da elaborazioni su dati storici, inerenti i danni subiti da diverse tipologie di serbatoi (ad es. del tipo ancorato o non ancorato, serbatoi pressurizzati, ecc.) è possibile identificare, per tali apparecchiature, un indice di vulnerabilità, correlato all'altezza e al quadrato della velocità dell'inondazione.

I cinque indici di vulnerabilità, riportati nella figura seguente, indicano differenti valori di probabilità di danneggiamento dei serbatoi a seguito dell'evento di inondazione.

La figura seguente mostra le cinque soglie di vulnerabilità, correlate ai valori dell'altezza e della velocità dell'onda. Queste correlazioni, chiamate anche, derivano

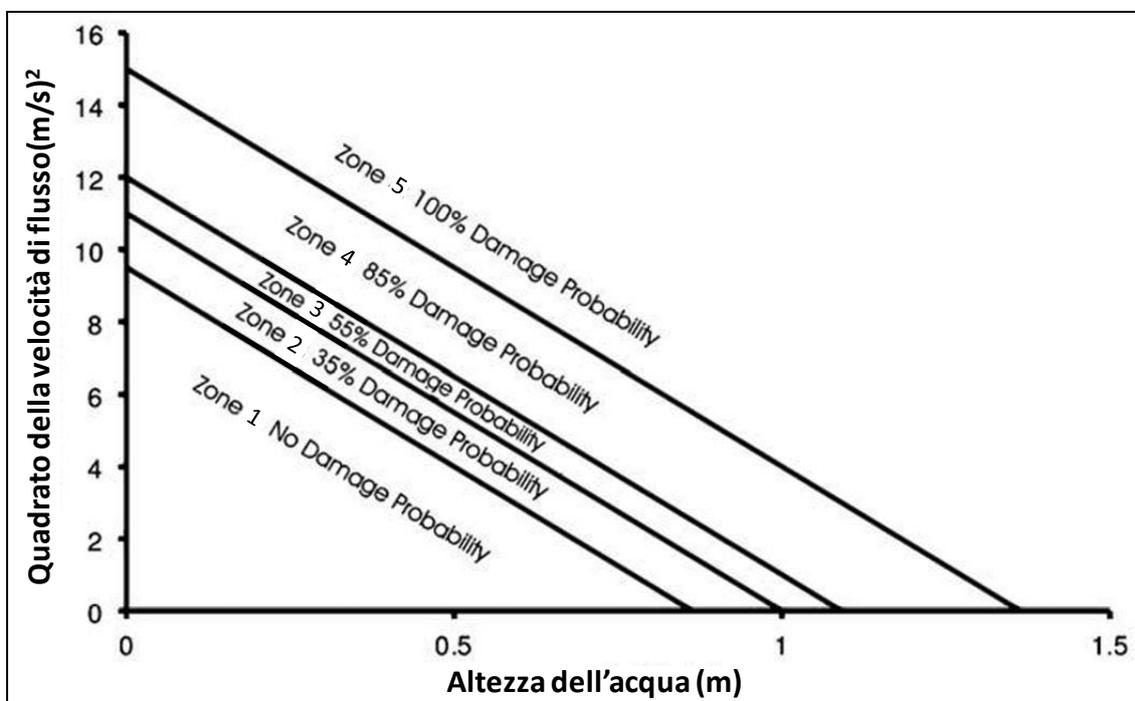


Figura 21. Curve di fragilità (Antonioni et al. 2009)

Le stime delle altezze d'onda presenti nello studio di Lorito *et al.* indicano come caso più gravoso quello derivante dalla zona sorgente Algeria-Tunisia con altezze d'onda prevedibili di circa 0,3m per la costa di Oristano.

Considerando che il Deposito Costiero si colloca ad una distanza media dalla costa di circa 700m, distanza presumibilmente sufficiente ad attenuare considerevolmente tali altezze d'onda e relativa velocità, si può escludere qualsiasi ipotesi di danneggiamento per le apparecchiature del deposito, a seguito di eventi simili a quelli presi come riferimento.

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.

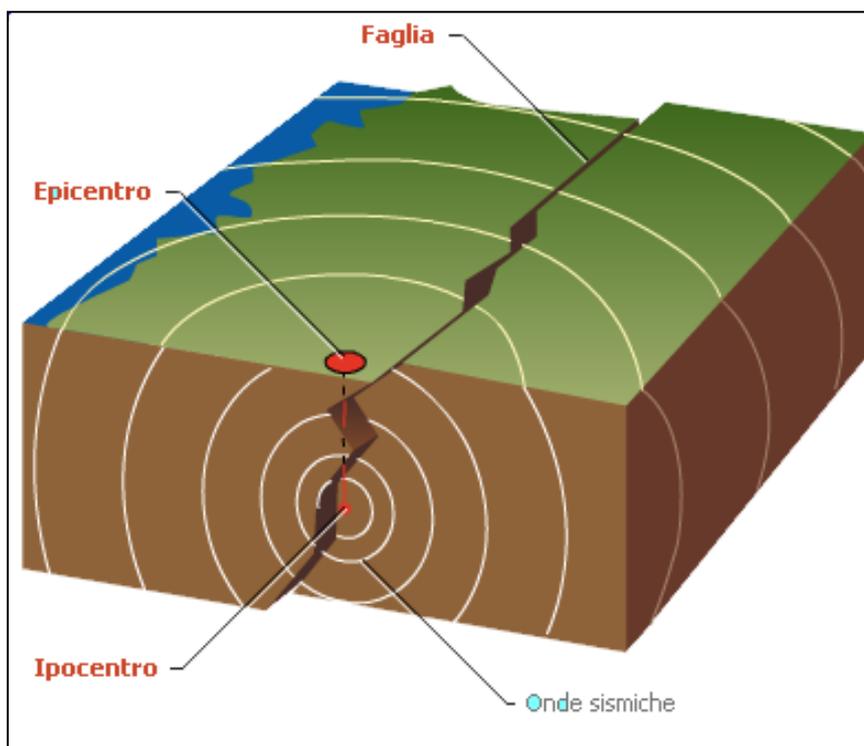


Figura 22. Epicentro e ipocentro di un sisma (<http://www.meteoweb.eu/>)

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 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.

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 ITALIANO

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 (ag), 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 (ag)
1	$ag > 0.25$
2	$0.15 < ag \leq 0.25$
3	$0.05 < ag \leq 0.15$
4	$ag \leq 0.05$

Tabella 6. Parametri di classificazione sismica(INGV)



Figura 23. Classificazione sismica territorio italiano 2012 (INGV)

3.4.1 Valore di PGA per il Comune di Santa Giusta

In accordo con i metodi dell'analisi probabilistica del rischio sismico (Probabilistic Seismic Hazard Analysis PSHA) il valore di riferimento della PGA per un luogo specifico è quello che presenta in un determinato intervallo di tempo una certa probabilità di superamento (50 anni-10%).

Per il Comune di Santa Giusta, in cui è situato il Deposito Costiero IVI Petrolifera, tale valore risulta compreso tra 0,025-0,050g come mostrato nella seguente figura.

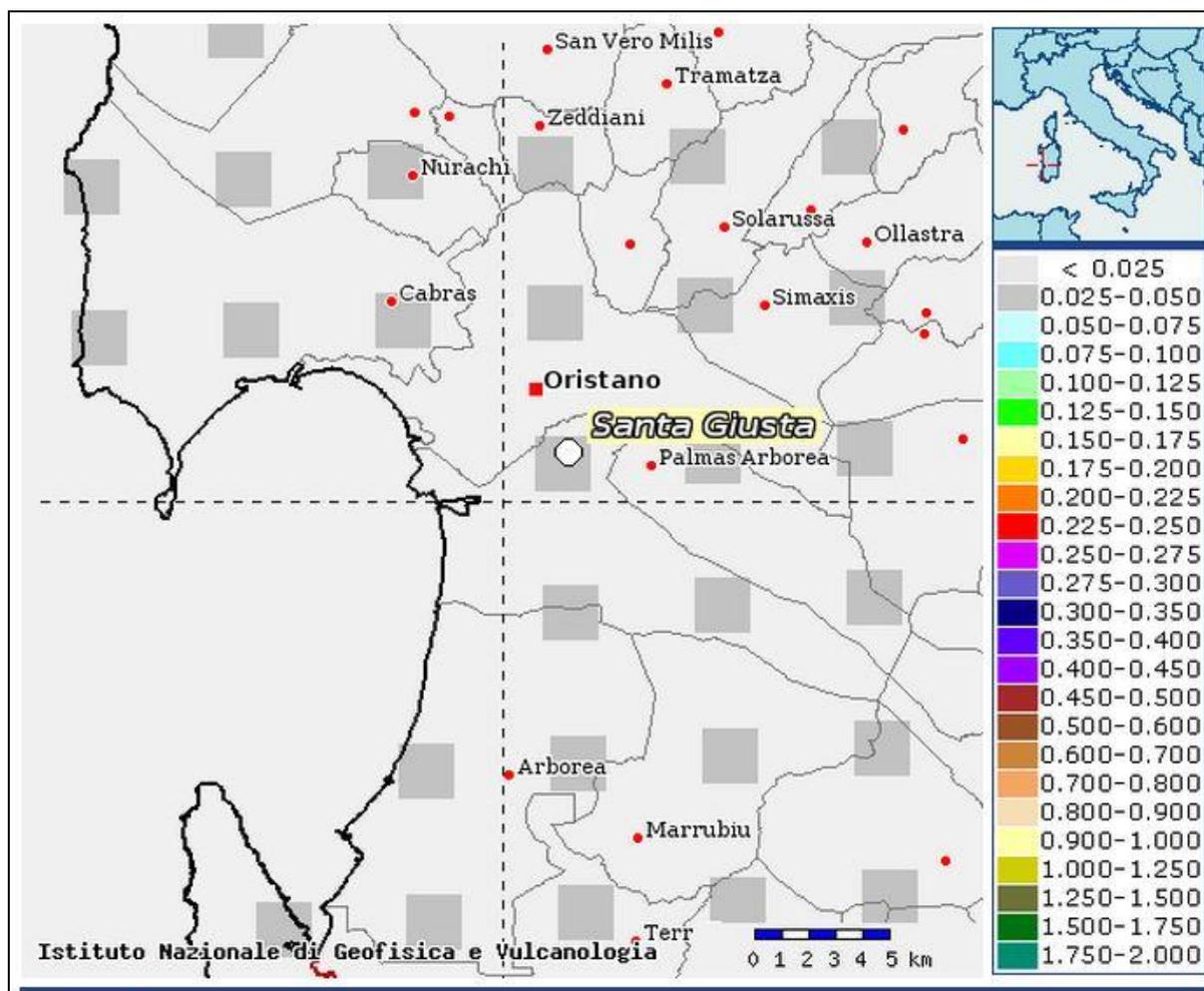


Figura 24. Mappa di pericolosità sismica di Santa Giusta (OR) (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Tale valore risulta il più basso considerando l'intero territorio italiano.

3.5 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3.5.1 DGR 15-31 del 30/03/2004

Con Delibera della Giunta Regionale n. 15-31 del 30/03/2004 “Disposizioni preliminari in attuazione dell’OPCM 3274 del 20/03/2003 recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” la regione Sardegna, ha recepito l’OPCM 3274/2003 e fatto propria la classificazione sismica dei Comuni della Sardegna la totalità dei quali ricade in zona 4 zona considerata meno pericolosa, con un valore di accelerazione massima orizzontale su suolo rigido e pianeggiante (ag) (con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni) $\leq 0,05$, non introducendo per detti Comuni l’obbligo di progettazione antisismica.

3.5.2 DM 14/01/2008

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.

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.

Il Rischio Idrogeologico (R) è definito come l'entità del danno atteso in seguito al verificarsi di un particolare evento calamitoso, in un intervallo di tempo definito, in una data area; esso è correlato a:

- Pericolosità (P), ovvero alla probabilità di accadimento dell'evento calamitoso entro un definito arco temporale (frequenza), con determinate caratteristiche di magnitudo (intensità);
- Vulnerabilità (V), espressa in una scala variabile da zero (nessun danno) a uno (distruzione totale), intesa come grado di perdita atteso, per un certo elemento, in funzione della intensità dell'evento calamitoso considerato;
- Valore Esposto (E) o esposizione dell'elemento a rischio, espresso dal numero di presenze umane e/o dal valore delle risorse naturali ed economiche che sono esposte ad un determinato pericolo.

Con riferimento al DPCM 29 settembre 1998 "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n.180" è possibile definire quattro classi di rischio, secondo la classificazione di seguito riportata:

- **moderato R1:** per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
- **medio R2:** per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività 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, l'interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- **molto elevato R4:** per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale e la distruzione di attività socioeconomiche.

4.2 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Il PAI costituisce Piano Stralcio del Piano di Bacino, ai sensi dall'articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989, n. 183, ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino dedicata.

Il PAI viene applicato nel bacino idrografico unico regionale della Regione Sardegna, corrispondente all'intero territorio regionale, comprese le isole minori, che ai sensi della Deliberazione della Giunta regionale n. 45/57 del

30.10.1990 è suddiviso nei seguenti sette sottobacini (figura seguente): n.1 Sulcis, n.2 Tirso, n.3 Coghinas-Mannu-Temo, n.4 Liscia, n.5 Posada-Cedrino, n.6 Sud-Orientale, n.7 Flumendosa-Campidano-Cixerri.

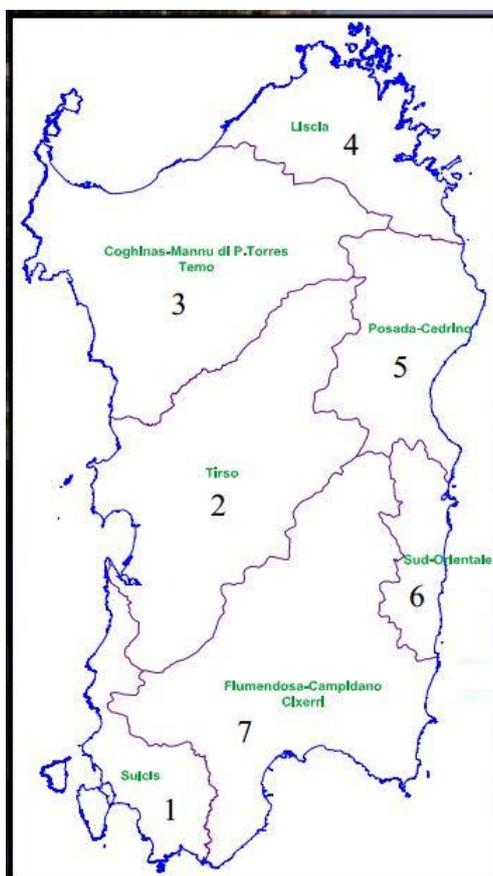


Figura 25. Sottobacini della Sardegna

Il Deposito Costiero IVI Petrolifera si colloca all'interno del sottobacino del Fiume Tirso.

4.2.1 Rischio Idraulico

In merito al Rischio Idraulico, per ciascun tronco fluviale che presenta fenomeni di esondazione, è stata redatta la mappatura:

- degli elementi e superfici a rischio;
- delle aree inondabili dovute al passaggio, lungo un tronco critico, di una piena la cui portata al colmo fosse caratterizzata da tempi di ritorno pari a 50, 100, 200, 500 anni;
- delle superfici a rischio attraverso l'intersezione delle due mappe precedenti.

La carta del tema "aree inondabili" consente di evidenziare il livello di pericolosità che insiste sul territorio anche se non sono attualmente presenti elementi esposti.

Analogamente a quanto sopra riportato, è stata redatta la cartografia del rischio frana.

Il territorio in cui risulta ubicato il Deposito Costiero IVI Petrolifera, all'interno del comune di Santa Giusta (OR) risulta inquadrato nella tavola 9, Sub-bacino Tirso, degli allegati cartografici del PAI dalle quali si evidenzia la caratterizzazione del territorio sulla base delle aree inondabili da piene con portate di colmo caratterizzate da differenti tempi di ritorno 2, 50, 100, 200 e 500 anni). Nella seguente figura si riporta la perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica individuate nel PAI (da un estratto del PUC del Comune di Santa Giusta 2012) evidenziando l'ubicazione del Deposito Costiero.

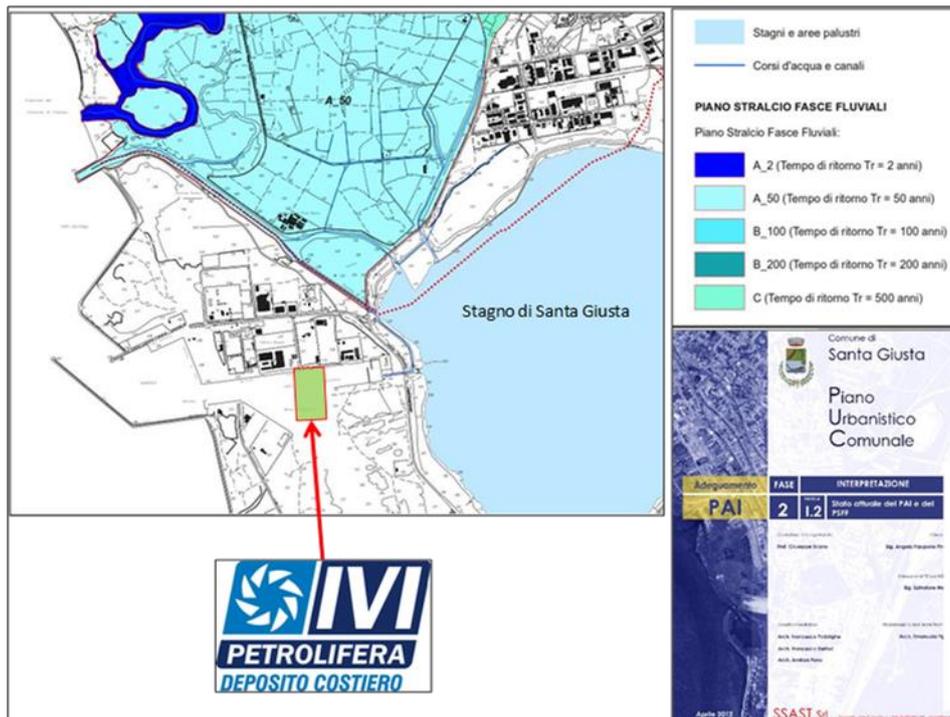


Figura 26. Aree a pericolosità idraulica nel Comune di Santa Giusta

L'area di ubicazione dell'impianto si trova in una zona non interessata da rischio idraulico in quanto non soggetta a fenomeni di allagamento.

4.2.2 Rischio Frana

Analogamente alla definizione del rischio idraulico, il rischio di frana è definito come prodotto fra la pericolosità Hg dei fenomeni di dissesto, la presenza sul territorio di elementi a rischio E e la loro vulnerabilità V: $R_g = H_g E V$.

In particolare sono state individuate 5 classi di pericolosità di frana Hg così definite:

- **Hg0 Nulla** - Aree non soggette a fenomeni franosi con pericolosità assente
- **Hg1 Moderata** - Aree con pericolosità assente o moderata e con pendenze comprese tra il 20% e il 35% con copertura boschiva limitata o assente; aree
- con copertura boschiva con pendenze > 35%;

- **Hg2 Media** - Aree con pericolosità media con fenomeni di dilavamento diffusi, frane di crollo e/o scivolamento non attive e/o stabilizzate, con copertura boschiva rada o assente. e con pendenze comprese tra 35 e 50%, falesie lungo le coste;
- **Hg3 Elevata** - Aree con pericolosità elevata con pendenze >50% ma con copertura boschiva rada o assente; frane di crollo e/o scorrimento quiescenti, fenomeni di erosione delle incisioni vallive. Fonti di scavo instabili lungo le strade; aree nelle quali sono inattività o sono state svolte in passato attività minerarie che hanno dato luogo a discariche di inerti, cave a cielo aperto, cavità sotterranee con rischio di collasso del terreno e/o subsidenza (i siti minerari dismessi inseriti nella Carta della pericolosità di frana); aree interessate in passato da eventi franosi nelle quali sono stati eseguiti interventi di messa in sicurezza;
- **Hg4 Molto elevata** - Aree con pericolosità molto elevate con manifesti fenomeni di instabilità attivi o segnalati nel progetto AVI o dagli Enti Locali interpellati o rilevate direttamente dal Gruppo di lavoro.

L'area del Deposito Costiero ricade in una zona Hg0, non soggetta a fenomeni franosi e con pericolosità assente.

5 FULMINAZIONI

5.1 GENERALITÀ⁹

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.

⁹ Come fonte principale è stato utilizzato il sito internet del CESI-SIRF www.fulmini.it

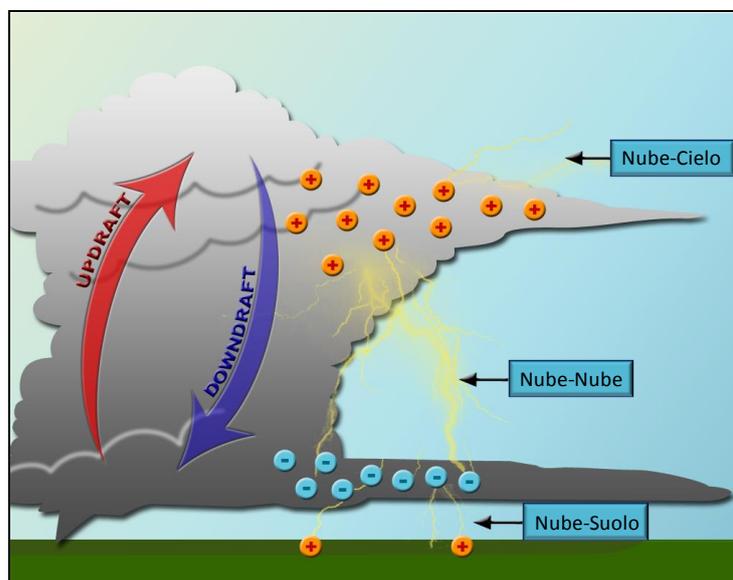


Figura 27. Tipologie di fulmini (<http://www.wunderground.com>)

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*.

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** ($\mu\text{sec.}$): 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). ($\mu\text{sec.}$): Il tempo all'emivalore per il primo colpo è di circa 50-100 microsecondi.

5.2 FREQUENZA FULMINAZIONI

Secondo la norma CEI 81-3 (Edizione Maggio 1999) - "*Valori medi del numero dei fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato dei Comuni d'Italia, in ordine alfabetico.*" il valore medio del numero di fulmini a terra all'anno e al km^2 (N_t) per il comune di Santa Giusta dove si colloca il Deposito Costiero IVI Petrolifera vale:

$N_t=2,5$ fulmini/ km^2 anno.

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;
- 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 per l'installazione di sistemi di protezione LPS

La norma di riferimento per l'Italia è la **CEI EN 62305** 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.

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, è stato possibile mostrare come per l'intero territorio della regione, nel periodo di riferimento, l'unico evento di una certa intensità sia stato quello di Perdaxius (CI) del 2 gennaio 1980 classificato F2.

Sulla base di tale evento si è proceduto a stimare una approssimativa frequenza di eventi di tornado di bassa intensità (EF2) per unità di superficie Regionale e da questa stimare cautelativamente la frequenza di impatto per l'intera superficie del Deposito Costiero. La frequenza ottenuta risulta di $8,24 \cdot 10^{-8}$ Eventi F2/anno.

Pertanto il rischio di evento incidentale ai fini del progetto di ampliamento del Deposito Costiero IVI Petrolifera, derivante dagli effetti di un tornado, è classificabile come marginale. Non si procede alla valutazione delle conseguenze.

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 inoltre come, considerando le sorgenti sismogeniche più credibili per magnitudo attesa, per Oristano l'altezza d'onda massima prevedibile conseguente ad uno tsunami sarebbe di circa 0,3 m in relazione alla sorgente Algeria-Tunisia. Non è credibile ipotizzare che tale onda possa raggiungere l'area del Deposito Costiero causando danni alle apparecchiature previste dal progetto in esame.

Pertanto il rischio di evento incidentale ai fini del progetto di ampliamento del Deposito Costiero IVI Petrolifera, derivante dagli effetti di uno tsunami, è classificabile come marginale. Non si procede alla valutazione delle conseguenze.

6.3 SISMA

Con Delibera della Giunta Regionale n. 15-31 del 30/03/2004 “Disposizioni preliminari in attuazione dell’OPCM 3274 del 20/03/2003 recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” la regione Sardegna, ha recepito l’OPCM 3274/2003 e fatto propria la classificazione sismica dei Comuni della Sardegna la totalità dei quali ricade in zona 4 zona considerata meno pericolosa, non introducendo per detti Comuni l’obbligo di progettazione antisismica.

L’ampliamento del Deposito Costiero IVI Petrolifera, è progettato in conformità con la normativa tecnica vigente in materia di costruzioni, rappresentata dal D.M. 14/01/2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), in cui vengono definiti i principi per il progetto, l’esecuzione e il collaudo delle costruzioni.

6.4 FRANE E ALLAGAMENTI

Secondo le fonti utilizzate nello Studio, l’area del Deposito Costiero si colloca in una zona non interessata da rischio frana e non interessata da rischio di idraulico in quanto non interessata da fenomeni di allagamenti, anche considerando i maggiori tempi di ritorno.

Pertanto il rischio di evento incidentale ai fini del progetto di ampliamento del Deposito Costiero IVI Petrolifera, derivante dagli effetti di frane e allagamenti, è classificabile come marginale. Non si procede alla valutazione delle conseguenze.

6.5 FULMINAZIONI

Secondo la norma CEI 81-3 (Edizione Maggio 1999), il valore medio del numero di fulmini a terra all'anno e al km² (N_t) per il comune di Santa Giusta dove si colloca il Deposito Costiero IVI Petrolifera vale: $N_t=2,5$ fulmini/km²anno.

La norma di riferimento per l’Italia, in materia di protezione degli edifici e delle strutture contro le fulminazioni, è la CEI EN 62305.

L’ampliamento del Deposito Costiero IVI Petrolifera, è progettato in conformità con la normativa tecnica vigente in materia di protezione contro le scariche atmosferiche.

APPENDICE A - INDICATORI DI DANNO DELLA SCALA ENHANCED FUJITA

N.	Damage Indicators (DI)
1	Small Barns or Farm Outbuildings (SBO)
2	One- or Two-Family Residences (FR12)
3	Manufactured Home – Single Wide (MHSW)
4	Manufactured Home – Double Wide (MHDW)
5	Apartments, Condos, Townhouses [3 stories or less] (ACT)
6	Motel (M)
7	Masonry Apartment or Motel Building (MAM)
8	Small Retail Building [Fast Food Restaurants] (SRB)
9	Small Professional Building [Doctor's Office, Branch Banks] (SPB)
10	Strip Mall (SM)
11	Large Shopping Mall (LSM)
12	Large, Isolated Retail Building [K-Mart, Wal-Mart] (LIRB)
13	Automobile Showroom (ASR)
14	Automobile Service Building (ASB)
15	Elementary School [Single Story; Interior or Exterior Hallways] (ES)
16	Junior or Senior High School (JHSH)
17	Low-Rise Building [1-4 Stories] (LRB)
18	Mid-Rise Building [5-20 Stories] (MRB)
19	High-Rise Building [More than 20 Stories] (HRB)
20	Institutional Building [Hospital, Government or University Building] (IB)
21	Metal Building System (MBS)
22	Service Station Canopy (SSC)

N.	Damage Indicators (DI)
23	Warehouse Building [Tilt-up Walls or Heavy-Timber Construction](WHB)
24	Transmission Line Towers (TLT)
25	Free-Standing Towers (FST)
26	Free-Standing Light Poles, Luminary Poles, Flag Poles (FSP)
27	Trees: Hardwood (TH)
28	Trees: Softwood (TS)

Tabella A1 - Indicatori di Danno (Damage Indicators) della scala Enhanced Fujita

APPENDICE B - INDICE SWEAT (SEVERE WEATHER THREAT)

Il calcolo dell'Indice è così definito:

$$SWEAT = 12T_{d850} + 20 (T - 49) + 2 f_{850} + f_{500} + 125 (S + 0.2)$$

con:

T_{d850} = temperatura di rugiada in °C a 850 hPa (se $T_{d850} < 0$, allora $12T_{d850} = 0$)

f_{850} = velocità del vento a 850 hPa, espressa in nodi.

f_{500} = velocità del vento a 500 hPa, espressa in nodi.

S = $\sin \Delta\phi$ (shear del vento)

$\Delta\phi$ = differenza tra la direzione del vento a 500 hPa e 850 hPa (ovvero l'angolo tra direzione del vento a 500 hPa e a 850 hPa)

T = somma della temperatura e della temperatura di rugiada a 850 hPa meno due volte la temperatura a 500 hPa. Se $T < 49$, allora $20 (T - 49) = 0$

Per definire il termine relativo allo shear del vento $125 (S + 0.2)$, bisogna far riferimento alla seguente tabella:

direzione del vento a 850 hPa compresa nell'intervallo 130° - 250°.	SI	NO
direzione del vento a 500 hPa compresa nell'intervallo 210° - 310°	SI	NO
direzione del vento a 500 hPa meno direzione del vento a 850 hPa > 0	SI	NO
sia f_{850} che $f_{500} \geq 15$ nodi.	SI	NO

E' sufficiente rispondere NO ad una delle precedenti condizioni per porre il termine $125 (S + 0.2) = 0$.

Tutti i dati di input sono ricavabili dal messaggio TEMP che contiene i dati, codificati, inviati da un emettitore quale un pallone sonda.