



APAT

Agenzia per la protezione
dell'ambiente e per i servizi tecnici

La messa in sicurezza dell'area industriale di Priolo-Augusta rispetto ai rischi da terremoto e maremoto

Rapporti 41/2004

APAT

Informazioni legali

L'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili dell'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

APAT - Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma
www.sinanet.apat.it

© APAT, Rapporti 41/2004

ISBN 88-448-0124-8

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

APAT

Grafica di copertina: Riccardo De Lauretis, Franco Iozzoli

Foto di copertina: Paolo Orlandi

Coordinamento tipografico

APAT - Servizio di Supporto alla Direzione Generale
Settore Editoria, Divulgazione e Grafica

Impaginazione e stampa

I.G.E.R. srl - Viale C. T. Odescalchi, 67/A - 00147 Roma

Stampato su carta TCF

Finito di stampare aprile 2004

Contratto di ricerca APAT-ICTP.

Responsabili di contratto: Leonello Serva e Giuliano Panza

a cura di

Giuliano Panza (Coordinatore) *, **, Antonino Cuspilici ^, Luis Decanini ^^, Luca Ferrelì°, Fabrizio Mollaioli ^^, Alessandro Maria Michetti°°, Rodolfo Piscopià', Marcello Panzica La Manna ^, Fabio Romanelli **, Franco Vaccari *

* SAND Group, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics.

** Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Scienze della Terra.

^ Comitato di Coordinamento per l'Area a Rischio di Crisi Ambientale del territorio di Priolo-Augusta-Melilli-Floridia-Solarino-Siracusa.

^^ Università di Roma "La Sapienza" Prima Facoltà di Architettura "L. Quaroni", Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica.

° Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici.

°° Università degli studi dell'Insubria Como, Dipartimento di Scienze Chimiche e Ambientali

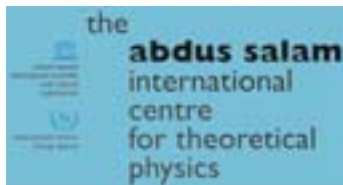
' Via Flaminia Vecchia 783, 00191 Roma.



UNIVERSITA' DEGLI STUDI
DELL'INSUBRIA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE
CC.FF.MM.
Via Valleggio, 11 22100 Como



Università di Roma "La Sapienza"
Prima Facoltà di Architettura
"L. Quaroni" Dipartimento
di Ingegneria Strutturale e
Geotecnica Via Gramsci, 53



2003

INDICE

1. PREFAZIONE	7
2. TERREMOTO	8
2.1 Introduzione	8
2.2 Sorgenti sismogenetiche di interesse (Michetti, Mollaioli, Decanini)	9
2.3 Caratterizzazione dei terremoti di scenario.....	13
2.4 Scuotimenti del suolo attesi	17
2.5 Studio parametrico	17
2.6 Calcolo dell'input sismico lungo un profilo	18
3. MAREMOTO	20
3.1 Introduzione	20
3.2 Aree sorgente	20
3.3 Onde di maremoto attese	21
4. CONCLUSIONI	22
5. BIBLIOGRAFIA	25
6. APPENDICE	27

1. PREFAZIONE

I recenti forti terremoti che hanno interessato zone particolarmente industrializzate in Turchia ed in India (terremoto del 17.8.1999, Kocaeli, Turchia, $M_w = 7.4$; e terremoto di Gujarat, India, del 26.01.2001, $M_w = 7.7$) hanno messo in evidenza che al danno prodotto dal terremoto si può aggiungere quello dovuto alle conseguenze di incidenti e/o rotture negli impianti, cosiddetti, "a rischio di incidente rilevante". Il rischio totale nell'area può quindi assumere valori estremamente elevati in termini economici, ambientali, e talvolta con perdita di vite umane. Ad esempio, nel caso del terremoto turco, il danneggiamento della raffineria Tupras di IZMIT ha provocato l'incendio della stessa e la fuoriuscita di una quantità rilevante di olio (Foto 1).



Foto 1 - Tüpra: Incendio della raffineria a seguito del terremoto del 1999.

Sulla base di quanto sopra e di quanto conosciuto, il presente studio si propone come elemento di base per l'impostazione di interventi strutturali sugli impianti e sul territorio con l'obiettivo di mettere il tutto in condizioni di sicurezza a fronte del terremoto (ed eventuale maremoto associato) atteso nell'area.

A questo scopo è stata realizzata un'analisi per mettere in evidenza l'entità e la frequenza dei fenomeni naturali (terremoti e maremoti) che possono determinare significativi impatti sia sull'ambiente fisico che su quello antropizzato (infrastrutture) nell'area di Priolo-Augusta. Il progetto ha avuto come obiettivo iniziale la valutazione dei carichi dovuti a fenomeni naturali che, trasformati in termini ingegneristici, devono essere

utilizzati per la verifica della idoneità progettuale degli impianti industriali presenti nelle aree studiate. In particolare è stato valutato, dapprima, il terremoto di riferimento per la progettazione, in termini di picco massimo di accelerazione e spettro di risposta associato. In tale fase si è anche provveduto alla costruzione di scenari associati ad un eventuale maremoto. I siti prescelti sono esposti ad un elevato rischio sismico la cui definizione ha richiesto l'adozione delle metodologie più avanzate disponibili. A tale scopo sono stati applicati diversi approcci innovativi sia di tipo sismologico che ingegneristico.

In primo luogo è stata esaminata, dettagliatamente, la sismicità storica e strumentale delle aree congiuntamente ai dati geologico-strutturali disponibili, allo scopo di individuare le possibili strutture sismogenetiche e per definire le "dimensioni" (magnitudo, momento sismico, etc.), e localizzazione degli eventi attesi per i differenti scenari di riferimento. A partire dalla definizione dei parametri fondamentali, le caratteristiche del moto del suolo nei siti d'interesse sono state determinate mediante criteri ingegneristici (sorgente, legge di attenuazione, parametri dello scuotimento), di storia sismica (catalogo risentimenti nei siti, relazione di occorrenza, parametri del moto del suolo) e sismologici basati sulla sismosintesi. Fra queste è particolarmente rilevante la definizione deterministica dell'input sismico, che è stata realizzata mediante la modellazione realistica del moto del suolo. In tal modo è stato possibile tener conto in modo simultaneo delle proprietà della sorgente sismica, degli effetti regionali di propagazione e di quelli di sito. I segnali sono stati utilizzati per la definizione del terremoto di riferimento. Le serie temporali corrispondenti al terremoto di riferimento sono state utilizzate per definire l'input sismico per le strutture di interesse. Tale definizione è stata effettuata impiegando le metodologie più avanzate, basate prevalentemente su considerazioni di tipo energetico.

Gli effetti delle condizioni geologiche e geotecniche a scala locale (effetto di sito) sono stati stimati utilizzando come input tutte le informazioni disponibili (e.g. sezioni geologiche e geotecniche) che sono state raccolte in un data base presso APAT.

L'integrazione dei risultati derivanti da differenti approcci metodologici ha consentito un'affidabile definizione della pericolosità sismica dell'area e dei siti coinvolti, compresi gli aspetti connessi con gli effetti dell'eventuale maremoto associato all'evento sismico.

2. TERREMOTO

2.1 Introduzione

L'area industriale di Priolo si sviluppa lungo il Golfo di Augusta, tra le città di Siracusa e Augusta. Questo settore della Sicilia Sud Orientale è noto per essere stato interessato storicamente da terremoti fra i più energetici mai registrati sul territorio italia-

no. Tuttavia, le conoscenze sul potenziale sismico di quest'area non sono affatto complete, e ciò ha determinato l'esigenza, ai fini di una corretta mitigazione dei rischi che i processi naturali possono indurre sul sito di Priolo, di uno studio dettagliato e innovativo innanzitutto delle caratteristiche tettoniche, paleosismologiche (vale a dire, della geologia dei terremoti che possono interessare la zona), e della sismicità storica e strumentale dell'area.

2.2 Sorgenti sismogenetiche di interesse (Michetti, Mollaioli, Decanini)

Le principali attività svolte per la definizione delle sorgenti sismiche rilevanti per la stima della pericolosità possono essere così riassunte:

- a) Rilettura critica dei precedenti studi riguardanti le caratteristiche sismotettoniche della Sicilia Sud Orientale;
- b) Raccolta di nuovi dati (analisi geomorfologiche, rilevamento di campagna, studio delle faglie quaternarie, osservazione degli effetti sul terreno dei forti terremoti recenti) e integrazione con quelli esistenti;
- c) Analisi storico-sismologica per la caratterizzazione dello stile sismico dell'area e della frequenza di occorrenza degli eventi;
- d) Definizione delle sorgenti sismiche e caratterizzazione dei relativi parametri di sorgente.

L'analisi dei dati geologici ha consentito di individuare le principali strutture tettoniche che possono generare terremoti forti e moderati nell'area (Figura 1). Le strutture tettoniche individuate possono essere suddivise in due gruppi costituiti rispettivamente dalle Faglie 1 e 2 (che rappresentano i segmenti del Sistema della Scarpata di Malta che attraversano il Golfo di Catania) ubicate a mare e dalle Faglie 3, 4, e 5 affioranti nel settore ibleo. I due gruppi sono anche rappresentati in Figura 1 con una grafica diversa in quanto, a causa della diversa disponibilità dei dati, la cartografia delle faglie ubicate nel Golfo di Catania è meno accurata rispetto a quella delle faglie rilevabili sul terreno.

La definizione di queste strutture è basata sullo studio delle faglie quaternarie e delle evidenze geomorfologiche e stratigrafiche di dislocazioni superficiali recenti (Pleistocene superiore – Olocene) che esse presentano. I dati raccolti indicano chiaramente che le strutture tettoniche quaternarie presenti si muovono in occasione di moderati e forti rilasci di energia sismica; la componente del movimento legata a scorrimento asismico non è mai dominante. Le caratteristiche geomorfologiche e stratigrafiche delle scarpate di faglia recenti osservabili in affioramento, ovvero attraverso la prospezione geofisica off-shore, indicano chiaramente che le strutture studiate producono fenomeni di fagliazione superficiale cosismica. Le strutture individuate sono state quindi cartografate usando la fagliazione superficiale come criterio di segmentazione; la lunghezza delle faglie nella pianta allegata corrisponde

alla lunghezza di rottura cosismica superficiale caratteristica che ci si può attendere lungo le singole strutture tettoniche.

La definizione delle dimensioni dei terremoti caratteristici associati alle strutture tettoniche individuate si basa sui dati raccolti relativi all'assetto strutturale e geodinamico dell'area investigata, lo stile tettonico delle faglie presenti, il loro tasso di scorrimento, il rigetto superficiale tipico che ci si può attendere per ogni terremoto e la lunghezza cosismica superficiale di rottura.

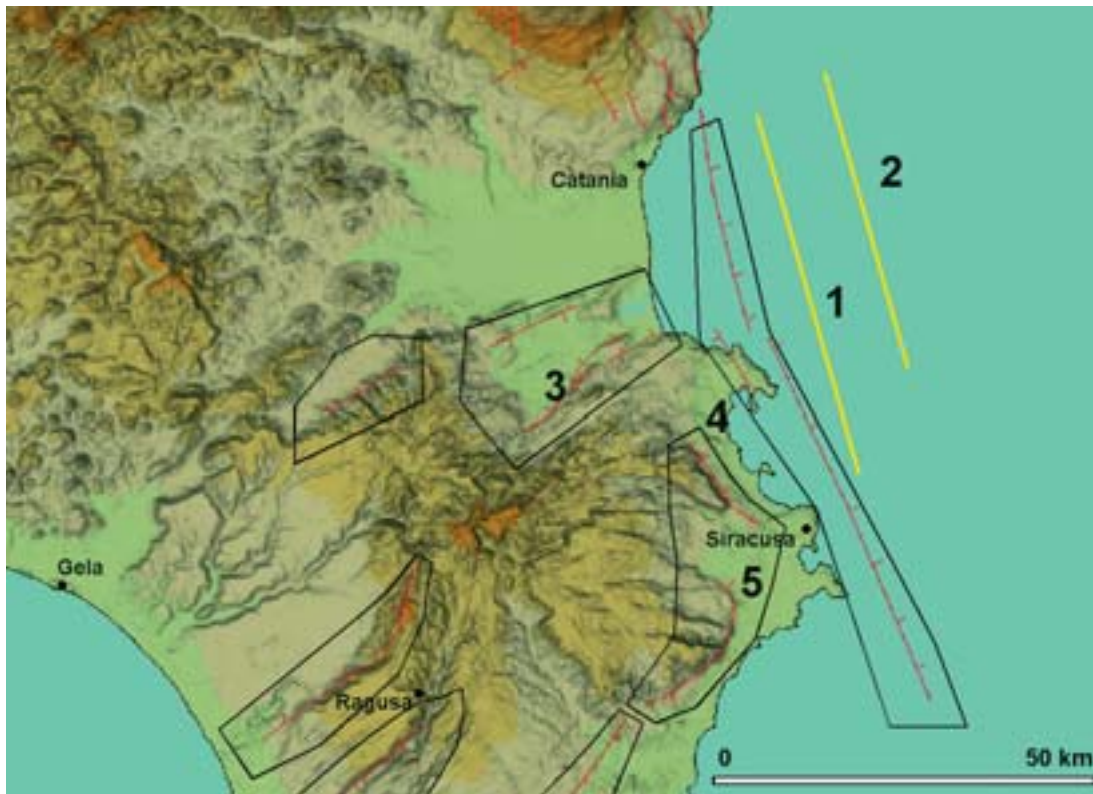


Figura 1 - Le strutture tettoniche individuate possono essere suddivise in due gruppi, costituiti rispettivamente dalle Faglie 1 e 2 (rappresentano i segmenti del Sistema della Scarpata di Malta che attraversano il Golfo di Catania), ubicate a mare, e dalle Faglie 3, 4, e 5, affioranti nel settore ibleo. I due gruppi sono rappresentati con una grafica diversa in quanto, a causa della diversa disponibilità dei dati, la cartografia delle faglie ubicate nel Golfo di Catania è meno accurata rispetto a quella delle faglie rilevabili sul terreno. Oltre alle cinque faglie discusse vengono indicate ulteriori strutture tettoniche della banca dati ITHACA, ritenute oggi marginali per la pericolosità sismica dell'area Priolo-Augusta (a terra) o non correttamente valutate (a mare). Modificata dal database ITHACA (Michetti et al., 2000).

Il riconoscimento di uno stile di fagliazione distensivo, in un settore interessato da magmatismo recente ed assottigliamento crostale, vincola lo spessore dello strato sismogenetico a valori non elevati. Ciò è in accordo con i dati strumentali a disposizione, secondo i quali la profondità ipocentrale tipica dei terremoti in Sicilia Sud-Orientale, ad eccezione ovviamente dell'area vulcanica etnea, presenta valori sostanzialmente analoghi a quelli dell'Appennino (ca. 8-15 km). Anche ammettendo che sia

possibile generare forti terremoti in quest'area a profondità ipocentrali maggiori, il che non può essere escluso a causa della mancanza di dati e di studi approfonditi sulle condizioni di sforzo (stress drop) esistenti a livello crostale in questo settore, la documentata evidenza dei fenomeni di fagliazione superficiale (peraltro costantemente osservata a livello mondiale per tutti i terremoti crostali con $M_w > 6.0$, di cui si abbiano a disposizione dati strumentali, avvenuti sino ad oggi lungo faglie dirette), unitamente alla lunghezza di rottura massima calcolata intorno ai 50 km, lungo le maggiori strutture tettoniche di questo settore, mostrano come lo spessore sismogenetico del settore investigato non possa raggiungere valori superiori ai 20-25 km. Secondo le leggi di scala ampiamente discusse in letteratura (ad es. Scholz, 1990), una rottura più profonda di ca. 25 km per propagarsi fino alla superficie con lunghezze di rottura pari a quelle delle maggiori faglie dell'area dovrebbe essere associata a valori di magnitudo prossimi a $M_w 8$, il che a sua volta implica dislocazioni del terreno per ogni singolo terremoto di tale M_w - e quindi tassi di scorrimento (considerando tempi di ritorno di qualche centinaio di anni come indicato dai dati storici) - di entità nettamente superiore a quelle desumibili dall'analisi della geomorfologia e della stratigrafia dell'area investigata.

Applicando alle faglie identificate le correlazioni empiriche fra lunghezza di rottura di faglia, rigetto, tassi di scorrimento e magnitudo, ottenute sia a livello mondiale (Slemmons e dePolo, 1986; Wells e Coppersmith, 1994; Mohammadioun e Serva, 2001), che a partire dai dati relativi a fenomeni di fagliazione superficiale cosismica per strutture tettoniche italiane e, assumendo per i valori della profondità ipocentrale un intervallo compreso fra i 10-15 e i 20-25 km, al fine di tener conto dei margini di errore derivanti dalle lacunose informazioni disponibili sulla reologia crostale del settore investigato, si ottengono i valori indicati in Tabella 1.

È importante rilevare che valori analoghi si ottengono anche attraverso l'analisi delle relazioni Frequenza-Magnitudo per la regione sicula sud-orientale.

Considerando, infatti, una opportuna delimitazione in zona sismogenetica dell'area sismica corrispondente alla Sicilia Sud Orientale, denominata semplicemente Area Sismica Iblea (Decanini e Oliveto 1994; Decanini et al. 2000) non coincidente esattamente con le corrispondenti zone sismogenetiche (ZS78, ZS79) del GNDT/CNR proposte da Scandone et al. (1992), a sua volta suddivisa in altri quattro sub-settori (Decanini et al. 2000), è stato possibile valutare l'influenza di una distribuzione spaziale differenziata della sismicità. Sulla base di queste suddivisioni sono state determinate le relazioni Frequenza-Magnitudo corrispondenti ai diversi settori sismogenetici i quali hanno indicato che ad un evento di magnitudo pari a 7.4 per la Sicilia Sud Orientale corrisponde un periodo di ritorno di 475 anni, pari ad avere una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni; mentre ad un evento di magnitudo 7.2 corrisponde un periodo di ritorno di circa 400-420 anni.

Tabella 1 - Parametri di sorgente delle strutture tettoniche rilevanti per il sito di Priolo.

Faglia	Distanza del sito dal centro della faglia	Stima della profondità ipocentrale	Magnitudo	Geometria schematica	Stile tettonico
1 Scarpata di Malta - Golfo di Catania W	21 km	10-15 km 20-25 km	7.2 7.4	340° (strike) 60° (dip)	Distensivo
2 Scarpata di Malta - Golfo di Catania E	37 km	10-15 km 20-25 km	7.2 7.4	340° (strike) 60° (dip)	Distensivo
3 Graben di Lentini	18 km	10-15 km 20-25 km	6.2 6.4	250° (strike) 60° (dip)	Distensivo
4 Monte Climiti	8 km	10-15 km 20-25 km	5.7 5.9	320° (strike) 60° (dip)	Distensivo
5 Avola - Noto	30 km	10-15 km 20-25 km	6.0 6.2	30° (strike) 60° (dip)	Distensivo

A proposito dei valori del potenziale sismico per le Faglie del sistema della Scarpata di Malta è però opportuno segnalare che, poiché per eventi di questa magnitudo il sito di Priolo ricade nell'ambito del near-fault, le differenze di magnitudo in Tabella 1 non conducono a differenze apprezzabili nei parametri caratterizzanti il moto del suolo che comunque sono minori dell'entità delle incertezze in gioco, come è illustrato nel capitolo 3.1.

Le Faglie 1 e 2 (Figura 1, Tabella 1) sono qui interpretate come le strutture tettoniche responsabili degli eventi sismici maggiori della Sicilia Orientale. In accordo con i dati di letteratura, queste sono le faglie responsabili dei grandi terremoti storici della Val di Noto (Barbano e Cosentino, 1981; Barbano, 1985; Lombardo, 1985; Boschi et al., 1995; 1997). I dati della prospezione sismica indicano chiaramente come le faglie che attraversano il Golfo di Catania determinino rigetti dell'ordine di diversi metri nei sedimenti più superficiali del fondo marino. Inoltre, tali dati dimostrano inequivocabilmente che i caratteri strutturali (cinematica, geometria, segmentazione) di queste faglie sono compatibili con rotture superficiali cosismiche che possono raggiungere lunghezze dell'ordine di circa 50 km, vale a dire le lunghezze di rottura fisicamente necessarie per rilasci di energia sismica dell'entità di quelli calcolati per l'evento del 1693 e del 1169.

Per quanto riguarda i valori di magnitudo massima corrispondenti ai terremoti storici del 1169 e 1693, va osservato che le valutazioni della magnitudo a partire dai dati macrosismici presentano considerevoli incertezze.

A tale proposito è stato anche necessario effettuare una dettagliata analisi storico-sismologica al fine di identificare lo stile sismico della regione, valutando anche la storia dei risentimenti macrosismici locali e quindi derivare le frequenze di occorrenza dell'Intensità e delle corrispondenti accelerazioni efficaci del moto del suolo. Questa pro-

cedura ha costituito un ulteriore strumento integrativo per la caratterizzazione del moto del suolo sulla base di un data set macrosismico.

Per la valutazione delle dimensioni (magnitudo) degli eventi sismici storici sulla base dei dati macrosismici disponibili sono state considerate specifiche correlazioni tra Magnitudo e Intensità e tra Magnitudo e aree racchiuse dalle isosisme che hanno fornito valori confrontabili con quanto indicato in Tabella 1.

L'ordine di grandezza delle dimensioni di questi eventi risulta comunque compatibile con dimensioni della rottura superficiale che possono avvenire solo in corrispondenza delle faglie maggiori esistenti nell'area, vale a dire quelle appartenenti al sistema della Scarpata di Malta. Infatti, non esistono in affioramento a terra strutture tettoniche di dimensioni tali da produrre un campo di effetti al suolo confrontabile con quello descritto per il terremoto del 1693.

Le strutture del Graben di Lentini, di Monte Climiti e di Avola-Noto sono ritenute responsabili di eventi sismici meno energetici e più frequenti di quelli associati alle faglie del Golfo di Catania. Queste faglie sono tutte caratterizzate da uno stile tettonico distensivo.

Lo stile tettonico attribuito in Tabella 1 indica che le faglie considerate mostrano tipicamente meccanismi di rottura per faglia normale pura. Ciò ovviamente non esclude che si possano verificare saltuariamente terremoti con meccanismi focali diversi, di dimensioni relativamente ridotte.

2.3 Caratterizzazione dei terremoti di scenario

Al fine di definire, per l'area in esame, le azioni sismiche corrispondenti a diversi livelli di pericolosità, sono stati valutati i diversi parametri sintetici caratterizzanti il potenziale distruttivo del moto del suolo, considerando l'influenza delle diverse sorgenti sismiche, della geologia superficiale e della morfologia del territorio. Si sono utilizzati parametri sia convenzionali che basati su concetti energetici. Per l'identificazione dei relativi input sismici si è ricorso ad un approccio di tipo ingegneristico prevalentemente basato sullo studio di segnali registrati e sui risentimenti locali dell'intensità macrosismica.

Tenendo conto del fatto che la definizione delle azioni sismiche di progetto è rivolta prevalentemente ad un'area industriale, si è ritenuto opportuno considerare diversi livelli di eccitazione sismica associabili a diversi comportamenti attesi (performance-based design) in relazione alle caratteristiche di funzionalità operativa o di sicurezza che devono essere mantenute. Usualmente, i livelli di comportamento considerati per le strutture e gli impianti sono: Completamente Operativo (Fully Operational); Operativo (Operational); Sicurezza per gli utenti (Life Safe); Sicurezza al collasso (Near-Collapse). In funzione dell'importanza delle costruzioni ed impianti e del rischio associato, per ciascun livello di comportamento dovrà essere scelto un adeguato terremoto di scenario.

Per la definizione dei terremoti di scenario sono stati analizzati i seguenti aspetti:

- Contesto sismotettonico della Sicilia Sud Orientale. Sorgenti sismogenetiche e relative dimensioni (vedasi anche il punto 2).
- Analisi storico-sismologica. Caratterizzazione dello stile sismico dell'area e frequenza di occorrenza degli eventi. Ricostruzione storica dei risentimenti macrosismici a Priolo sulla base di un apposito catalogo regionale e della funzione trasferimento sorgente-sito dell'intensità macrosismica. Derivazione della frequenza di occorrenza dell'Intensità macrosismica dell'accelerazione efficace (EPA).
- Analisi del rilascio di energia nel settore sismogenetico esaminato. Stima delle dimensioni dei terremoti di scenario sulla base dell'accumulo energetico.
- Procedura deterministica per la valutazione dei parametri del moto del suolo a Priolo in funzione della magnitudo (dimensione della sorgente), della distanza dalla sorgente e delle caratteristiche geologiche e geotecniche degli strati più superficiali presenti nel sito. Sono stati considerati per le componenti orizzontali parametri sia convenzionali che innovativi. Per quanto riguarda la componente verticale del moto è stato utilizzato prevalentemente il valore massimo dell'accelerazione.
- Caratterizzazione degli spettri di risposta per i diversi terremoti di scenario sia per la componente orizzontale che per quella verticale.

In questo contesto, per l'area di Priolo, la valutazione dell'input sismico è stata realizzata per le seguenti tre condizioni di severità dello scuotimento, di cui due, pur appartenendo allo stesso livello, sono riferiti a due diverse localizzazioni possibili della sorgente sismica:

1) Terremoto disastroso: evento eccezionale che può ritenersi il limite superiore. Questo scenario, denominato Evento 1, è rappresentativo del terremoto più pericoloso atteso nell'area, derivato dalla sismicità storica e dal contesto sismotettonico. Il periodo di ritorno di tale evento dipende dallo stile sismico dell'area. In questo caso si è ritenuto opportuno considerare un periodo di ritorno di circa 475 anni.

2) Terremoto forte. Evento rappresentativo di una situazione intermedia tra l'evento raro o eccezionale e gli eventi minori di frequente occorrenza. In questo caso sono stati considerati due livelli di terremoto forte, denominati Evento 2 ed Evento 3. Come periodo di ritorno di riferimento si è considerato un valore di circa 140 anni.

In assenza di informazioni specifiche, le caratteristiche del moto del suolo relative ad un terremoto il cui periodo di ritorno è di circa 70 anni (Terremoto Frequente) sono definibili pari a circa 2/3 di quelle corrispondenti ai terremoti di scenario forte.

Un ultimo aspetto necessario per una caratterizzazione più efficace del terremoto di scenario ha implicato la definizione di una misura della distanza dalla sorgente sismica, una volta definite le probabili strutture sismogenetiche responsabili in corrispondenza di ogni livello. Le distanze tra il sito e la proiezione superficiale delle sorgenti sismiche (D_f) sono state individuate assumendo il valore minimo compatibile con l'ubicazione di Priolo.

Nell'approccio empirico, la valutazione della severità e della distribuzione spaziale

del moto del suolo viene realizzata, una volta stabilite le faglie sismogenetiche, tramite le funzioni di Trasferimento Sorgente-Sito. Da queste funzioni, considerando fattori essenziali quali la magnitudo (dimensione della sorgente), la distanza dalla sorgente e le caratteristiche geologiche e geotecniche degli strati più superficiali presenti nel sito, si derivano i valori dei parametri caratterizzanti la severità dello scuotimento sismico.

Per gli eventi sismici relativi agli scenari in termini di magnitudo e distanza dalle ipotetiche sorgenti, sono stati determinati i diversi parametri caratterizzanti gli scuotimenti sismici, considerando in primo luogo la componente orizzontale.

Alcuni parametri considerati sono:

- EPA (g): Accelerazione Efficace del moto del suolo, corrispondente all'accelerazione spettrale media S_{am} nell'intervallo di periodi 0.1-0.5 s divisa per un coefficiente di amplificazione pari a 2.5
- EPV (cm/s): Velocità Efficace del moto del suolo.
- PGD (cm): Spostamento Massimo del Suolo.

I valori dei parametri adottati per i diversi scenari sono indicati in Tabella 2, distinguendo anche i casi relativi a tre diverse tipologie di suolo: S1 (roccia o suolo rigido), S2 (intermedio), S3 (soffice).

I risultati sono stati confrontati con i valori relativi a Priolo riportati nelle Carte di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale (2000). Nel suddetto rapporto vengono indicati i valori del PGA e dell'Intensità Macrosismica MCS per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni). Nella Classificazione Sismica del Territorio Italiano, Priolo Gargallo viene inquadrato in Seconda Categoria (grado di sismicità $S=9$) che comporterebbe un'accelerazione efficace del suolo dell'ordine di 0.23-0.25 g come da opportuna interpretazione degli spettri convenzionali di progetto contenuti nell'attuale normativa sismica. Nel presente studio il Terremoto di Scenario Disastroso corrisponde ad un periodo di ritorno di circa 475 anni e quindi la probabilità di eccedenza dei diversi parametri corrisponde ad un 10% in 50 anni. In Tabella 3 si riportano i valori ottenuti nel presente studio, quelli corrispondenti alle Carte di Pericolosità e l'accelerazione efficace stimata per la Seconda Categoria.

Tabella 2 - Parametri sintetici convenzionali del moto del suolo a Priolo. Componente orizzontale.

	EPA (g)	EPV (cm/s)			PGD (cm)		
		S1	S2	S3	S1	S2	S3
Terremoto disastroso – Evento 1 M=7.4 – D _f =15 km	0.35	25	35	53	10	17	28
Terremoto forte – Evento 2 M=6.4 – D _f =15 km	0.18	13	18	27	5	9	15
Terremoto forte – Evento 3 M=5.7 – D _f = 5 km	0.23	11	15	22	4	7	10

Tabella 3 - Accelerazione efficace e Intensità Macrosismica. Confronto con i valori corrispondenti al Terremoto di Scenario Disastroso a Priolo.

Fonte	Accelerazione (g)	Intensità MCS
Presente Studio – EPA	0.35	10
Carte di Pericolosità Sismica – PGA	0.189	9
EPA derivato dalla classificazione sismica in vigore	0.23-0.25	-

Il confronto tra il presente studio e le Carte di Pericolosità Sismica, che considerano uguali probabilità di eccedenza, evidenzia una forte differenza sia nei valori attesi delle accelerazioni del suolo che nell'Intensità Macrosismica (circa un grado in più). È probabile che le significative divergenze possano essere attribuite prevalentemente alle ipotesi di base e alle procedure adottate.

I valori proposti, che tengono conto dell'analisi storico-sismologica e dei caratteri sismotettonici dell'area in esame, sono in ottimo accordo con i valori ottenuti tramite la modellazione deterministica dell'input sismico (vedasi paragrafo 4), risultano quindi appropriati per la caratterizzazione sismica dell'area di Priolo.

L'analisi è stata completata da:

- confronto tra le diverse procedure per la determinazione dei parametri del moto del suolo;
- definizione degli spettri di risposta per ciascuno dei terremoti di scenario;
- analisi della componente verticale;
- stima del potenziale distruttivo in termini energetici degli scuotimenti di scenario.

2.4 Scuotimenti del suolo attesi

La definizione realistica dell'input sismico è stata realizzata tramite le tecniche di modellazione avanzate basate sulla somma multimodale (e.g. Panza, 1985; Florsch et al., 1991, Panza et al., 2001) e sul metodo ibrido (e.g. Fäh et al., 1993) che combina il metodo della somma modale con la tecnica delle differenze finite. È stato quindi ottenuto un ampio insieme di serie temporali ed informazioni spettrali corrispondenti a vari scenari di scuotimento, che rappresentano uno strumento scientifico potente, ed economicamente valido, per la microzonazione sismica.

Come modello strutturale medio di riferimento, anelastico a strati piani e paralleli, utilizzato per la propagazione delle onde dalla sorgente alla città di Priolo, è stato scelto quello impiegato per la zonazione deterministica del territorio italiano (Costa et al., 1993), già adottato nell'ambito del progetto Catania (e.g. Romanelli e Vaccari, 1999). Tale modello è stato adottato inizialmente per calcolare i valori dei parametri caratterizzanti il moto del suolo a Priolo, in corrispondenza dei terremoti di scenario delineati nel Paragrafo 3. I risultati ottenuti tramite la modellazione deterministica, per profondità ipocentrali variabili tra 5 e 10 km, sono in ottimo accordo con i valori mostrati in Tabella 2. Il modello strutturale di riferimento è stato quindi utilizzato per lo studio parametrico (Paragrafo 4.1) e per il calcolo dei segnali di riferimento da confrontare con i risultati della modellazione dettagliata (Paragrafo 4.2), al fine di studiare gli effetti di sito mediante rapporti di spettri di risposta.

2.5 Studio parametrico

È stato effettuato uno studio parametrico al fine di esaminare la dipendenza del profilo di radiazione dall'orientazione della faglia, più precisamente dall'angolo fra la direzione della faglia e la congiungente epicentro-Priolo (i.e. angolo strike-receiver). I parametri adottati inizialmente per descrivere il meccanismo focale e la configurazione sorgente-sito sono quelli di Tabella 4.

Tabella 4 - Parametri di sorgente adottati per lo studio parametrico.

Faglia	Coordinate estremi (°)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	h_s (km)	Mag	Distanza epicentrale* (km)
Scarpata di Malta	Lat: 37.358; Lon: 15.302						19
Golfo di Catania W	Lat: 37.150; Lon: 15.362	340	60	270	10	7.2	17

Tramite la somma multimodale per mezzi lateralmente omogenei, sono stati calcolati i segnali sintetici per le tre componenti del moto (radiale, trasversale e verticale), assumendo una distanza epicentrale di 18 km e facendo variare l'azimut della faglia (angolo strike-receiver) da 0 a 360 gradi. Da tali segnali sono stati estratti i valori di picco relativi a spostamenti, velocità ed accelerazioni, al fine di visualizzare la proiezione del profilo di radiazione sulla superficie terrestre. L'analisi parametrica è stata anche ripetuta per un angolo di dip= 80° . Si è notato che l'angolo strike-receiver per il sito di Priolo corrisponde ad un massimo di radiazione per il campo d'onda SH per entrambi i modelli di Tabella 4. Per una stima conservativa dell'input sismico si è deciso di adottare nei calcoli successivi anche un valore dell'angolo strike-receiver corrispondente a 90° , per esaminare il caso di un massimo di radiazione realistico del campo d'onda P-SV. Si noti che l'effetto azimutale (la dipendenza dell'ampiezza massima dall'angolo strike-receiver) combinato con le frequenze in gioco (0.05-10 Hz) provoca una variazione significativa delle ampiezze del moto in corrispondenza dei massimi di radiazione: per la componente radiale del moto si trova un fattore moltiplicativo 3, 3 e 6 rispettivamente per lo spostamento, velocità ed accelerazione. Nel caso del calcolo dei sismogrammi, la variazione di magnitudo (+0.2) può condurre a situazioni differenti, a seconda del meccanismo e delle frequenze dominanti: nel caso da noi considerato tale effetto si può ricondurre ad un fattore moltiplicativo di circa 1.3.

Per quanto riguarda l'incertezza sulla magnitudo e sulla profondità dell'evento, mediante la modellazione 1D è stata effettuata un'analisi parametrica considerando le profondità ipocentrali di 10, 12, 15, 20 e 25 km e le magnitudo di 7.0, 7.2, 7.4 e 7.6. È stato così messo in evidenza che un terremoto di magnitudo 7.6 localizzato ad una profondità di 20 km non genera, in superficie, valori di accelerazione di picco maggiori di un terremoto di magnitudo 7.0 posto ad una profondità di 15 km.

2.6 Calcolo dell'input sismico lungo un profilo

È stata effettuata l'analisi degli effetti di sito per la città di Priolo, considerando un profilo caratteristico (Figura 2). Con il metodo ibrido sono stati calcolati lungo il profilo (lungo circa 6 km) 100 sismogrammi sintetici (segnali 2D) a tre componenti, nel dominio degli spostamenti, velocità ed accelerazioni. Negli stessi siti, i calcoli sono stati ripetuti utilizzando il modello di riferimento a strati piani e paralleli (segnali 1D). In base ai risultati dello studio parametrico precedentemente descritto, sono state scelte due configurazioni sorgente-siti: un angolo strike-receiver pari a 140° per l'analisi del massimo di radiazione per il campo d'onda SH ed un angolo pari a 90° , per esaminare il caso di un massimo di radiazione realistico del campo d'onda P-SV. Vengono quindi considerati i risultati relativi alle componenti del moto dominanti: trasversale per l'angolo strike-receiver pari a 140° e radiale (e/o verticale) per l'angolo di 90° . Di

ciascun sismogramma è stato calcolato lo spettro di risposta in accelerazione, e quindi, sito per sito, il rapporto fra lo spettro del segnale 2D e quello del segnale 1D. Per le componenti del moto radiale e trasversale si è scelto di rappresentare il risultato dei rapporti fra gli spettri di risposta in due mappe (Figura 2), evidenziando con una scala di grigi le amplificazioni spettrali alle varie frequenze lungo il profilo. Le amplificazioni possono raggiungere valori pari a 4, il che significa che è possibile che si verifi-

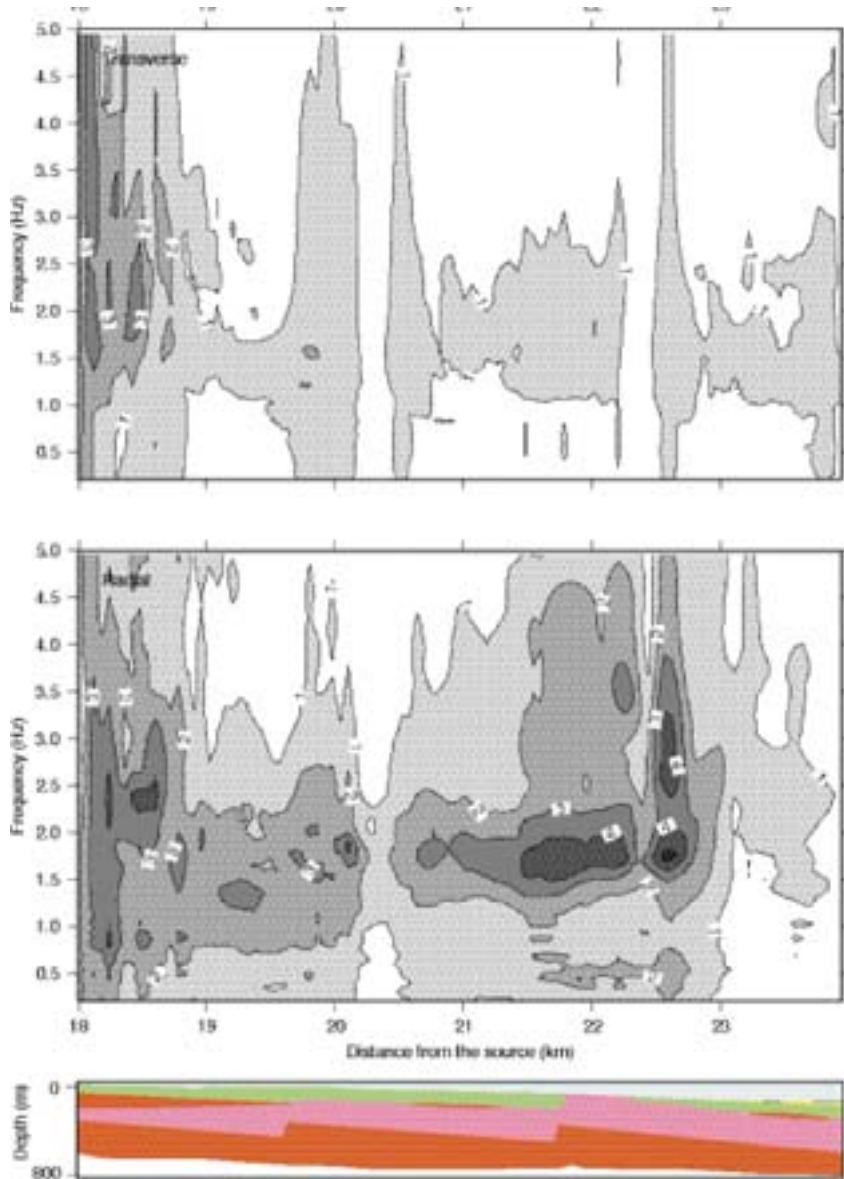


Figura 2 - Amplificazioni spettrali (scala di grigi) ottenute come rapporto fra gli spettri di risposta calcolati per i segnali sintetici calcolati lungo il profilo, ed i segnali sintetici calcolati in corrispondenza dei medesimi siti utilizzando il modello strutturale di riferimento. Dall'alto verso il basso: componente trasversale e radiale del moto, e geometria della parte più superficiale del profilo.

chino aumenti locali di intensità macrosismica fino a due gradi. Per un sottoinsieme di accelerogrammi sono stati quindi calcolati gli spettri di Fourier, gli spettri di risposta e l'Energia di Input (Uang e Bertero, 1990) che considera il comportamento effettivo di un sistema sollecitato da un'azione sismica e dipende dalle caratteristiche dinamiche sia del moto del terreno che della struttura stessa (Decanini e Mollaioli, 1998). È stato messo in evidenza come l'accelerogramma relativo alla componente trasversale del moto con minore distanza epicentrale, che presenta un picco di circa 1.5 g, sia in realtà caratterizzato da un'Energia di Input dello stesso ordine di grandezza degli altri segnali, nonostante le forme d'onda siano notevolmente diverse ed i valori di picco notevolmente più bassi (dell'ordine di 0.5 g).

3. MAREMOTO

3.1 Introduzione

Tradizionalmente, il problema maremoto viene associato al verificarsi di terremoti in mare. Risultati di ricerche molto recenti (Yanovskaya et al., 2002) mostrano invece che anche sorgenti in terra, non molto lontane dalla costa possono causare maremoti di una certa rilevanza. Nel caso di Priolo, in base ai dati di Tabella 1, si può affermare che la maggiore pericolosità, in termini di maremoto, è comunque associata al sistema di faglie Ibleo-Maltese (scarpata di Malta). Infatti, la combinazione della distanza della sorgente alla linea di costa (dell'ordine o maggiore di 10 km) con le magnitudo in gioco (dell'ordine di 6 od inferiori), rendono gli scenari tsunamigenici con sorgente in terra meno interessanti, se confrontati con la sorgente delineata in Tabella 4, almeno in termini di ampiezza massima (confrontabile od inferiore) dell'onda di Tsunami in mare aperto.

3.2 Aree sorgente

Per la definizione della pericolosità connessa col maremoto è stato effettuato uno studio parametrico che ha permesso di evidenziare le influenze dei parametri del meccanismo focale (strike, dip, rake, profondità focale) sul potenziale tsunamigenico associato al sistema Ibleo, tenendo conto dei periodi caratteristici del moto di Tsunami. Lo studio parametrico nel caso di maremoto risulta relativamente più semplice perché lo spettro di eccitazione (frequenza dominante pari a circa 0.006 Hz) è perfettamente simmetrico, e, considerare un evento di magnitudo diversa, provoca una semplice variazione nell'ampiezza massima del moto, legata ad un fattore moltiplicativo: se l'evento avesse magnitudo 7.4 anziché 7.2 le ampiezze andrebbero raddoppiate, come previsto dalla definizione della magnitudo da momento $M_w = \log(M_0)/1.5 - 10.73$. I ri-

sultati dello studio parametrico hanno permesso di definire una configurazione sorgente ricevitore che va intesa come un compromesso fra la configurazione suggerita inizialmente (Tabella 4) e quella più conservativa (profondità focale pari a 7 km) ma non del tutto realistica, e risulta nell'adozione di una profondità focale pari a 10 km ed una distanza epicentrale pari a 18 km. Tale configurazione è stata adottata per l'analisi speditiva finale della pericolosità di Tsunami al sito prescelto, utilizzando modelli oceanici sia 1D che 2D, tramite la tecnica modale (e.g. Panza et al., 2000).

3.3 Onde di maremoto attese

L'analisi speditiva ha costituito la base per la successiva analisi dettagliata, che è stata svolta grazie allo sviluppo di un metodo ibrido analitico-numerico. Tale approccio consente una modellazione che tiene conto in maniera dettagliata delle variazioni batimetriche prossime al sito (metodo numerico), usando come input una serie segnali calcolati sfruttando la notevole efficienza del metodo analitico modale. Sono stati calcolati i mareogrammi (registrazione dei livelli della superficie libera marina nel tempo) in una serie di punti, corrispondenti al confine in acqua della griglia di calcolo numerica, applicando il metodo modale sia ad un modello oceanico lateralmente omogeneo (A) che eterogeneo (B). Tale confine, parallelo alla linea di costa, rappresenta il luogo di punti dove applicare le condizioni al contorno per il metodo alle differenze finite, e permette di trovare le soluzioni delle equazioni in acqua bassa a partire dalla batimetria dettagliata del fondale. Dato che lo studio oggetto del presente rapporto riguarda l'interazione di un maremoto di assegnate caratteristiche e le coste della rada di Augusta, nella definizione dell'andamento dei fondali si è curata anche la topografia delle aree emerse.

Il treno di onde del maremoto di input A è caratterizzato al largo da una prima cresta di modesta ampiezza, circa pari a 0.25m, e con tempo di attraversamento del livello medio pari a circa 60s. A seguire, il cavo ha un'ampiezza molto maggiore, di circa 1.5m, e un tempo di attraversamento del livello medio pari a circa 120s. Infine, la successiva cresta ha un'ampiezza paragonabile a quella del precedente cavo, circa pari 1.5m, ma un tempo di attraversamento del livello medio inferiore, pari a circa 60s. Dopo la successione descritta (comunemente indicata con il termine di "leading waves") si hanno le cosiddette "trailing waves", cioè le ondulazioni di periodo ed ampiezza decrescenti nel tempo. Tali ondulazioni hanno scarso interesse riguardo alla loro risalita (run-up) lungo la costa soprattutto in confronto con il run-up delle leading waves. I risultati delle simulazioni numeriche per il modello dettagliato mostrano che l'area maggiormente esposta al maremoto, durante la sua propagazione verso costa, è l'isola di Augusta, che risulta completamente investita dalla risalita della seconda cresta del maremoto. Oltre al centro di Augusta, l'area maggiormente colpita è la zona delle saline alle spalle del porto Xifonio: la massima risalita del moto ondoso in tale zo-

na è pari ad un centinaio di metri. La differenza tra le distanze di risalita tra il centro di Augusta e la zona delle saline è chiaramente legata alla diversa altezza dell'onda di maremoto nelle due zone, fenomeno dovuto a due fattori: il primo è legato alla diffrazione del maremoto che investe direttamente il centro di Augusta mentre viene diffratto verso la zona delle saline; il secondo è legato alla presenza della secca S. Pietro che attenua l'energia del moto ondoso incidente lungo le coste delle saline.

Il treno di onde del maremoto di input B è caratterizzato al largo da una prima cresta di modesta ampiezza, circa pari a 0.65m, e con tempo di attraversamento del livello medio pari a circa 180s. A seguire, il cavo ha un'ampiezza molto maggiore, di circa 4.0m, e un tempo di attraversamento del livello medio pari a circa 90s. Infine, la successiva cresta ha un'ampiezza minore a quella del precedente cavo, circa pari 2.5m, e un tempo di attraversamento del livello medio paragonabile, pari a circa 90s. Le "trailing waves" in questo caso sono più piccole, se rapportate alla leading wave (circa pari al 10%). I risultati delle simulazioni numeriche per il modello dettagliato mostrano che l'area maggiormente esposta al maremoto, durante la sua propagazione verso costa è sempre l'isola di Augusta, che risulta completamente investita dalla risalita della seconda cresta del maremoto, Oltre al centro di Augusta, l'area maggiormente colpita è sempre la zona delle saline alle spalle del porto Xifonio: la massima risalita del moto ondoso in tale zona è pari a circa 200m. La differenza tra le distanze di risalita tra il centro di Augusta e la zona delle saline è chiaramente legata alla diversa altezza dell'onda di maremoto nelle due zone.

La Figura 3 mostra il confronto tra la linea di costa in condizioni di quiete e le linee di massima penetrazione dei maremoti innescati dagli input A e B. Si può notare che le aree inondate sono sensibilmente coincidenti per i diversi maremoti (a meno di una maggiore penetrazione alle spalle del porto Xifonio). Si può quindi dire che, sotto l'ipotesi di impermeabilità, resistenza e non tracimabilità delle difese esterne, la costa interna della rada è sensibilmente al riparo da grandi danni. Al contrario, l'isola di Augusta risulta estremamente esposta; nel primo scenario (maremoto A) sull'isola si ha la risalita di un'onda di ampiezza pari a circa 1.5m mentre nel secondo scenario (maremoto B) si ha la risalita di un'onda di ampiezza pari a circa 3m. Dunque, l'energia distruttiva che impatta Augusta cambia notevolmente nei due scenari. Altri punti a rischio, anche se di diversa natura, sono le imboccature della rada in cui si ottengono velocità al passaggio del fronte d'onda di circa 1.6m/s (bocca centrale) e 1.2m/s.

4. CONCLUSIONI

Il confronto tra i risultati del presente studio e le Carte di Pericolosità Sismica, che considerano uguali probabilità di eccedenza, evidenzia una forte differenza sia nei valori attesi delle accelerazioni del suolo che nell'Intensità Macrosismica (circa un grado in più).

Le azioni sismiche descritte attraverso i vari parametri sintetici convenzionali del moto del suolo (accelerazione efficace, EPA; velocità efficace, EPV; picco dello spostamento PGD; ecc.) e gli spettri di risposta forniscono una descrizione completa dei diversi livelli delle azioni sismiche da considerare in relazione alle differenti caratteristiche prestazionali, previste per gli impianti e le strutture (Sicurezza al collasso, Sicurezza per gli utenti, Completamente Operativo, Operativo).

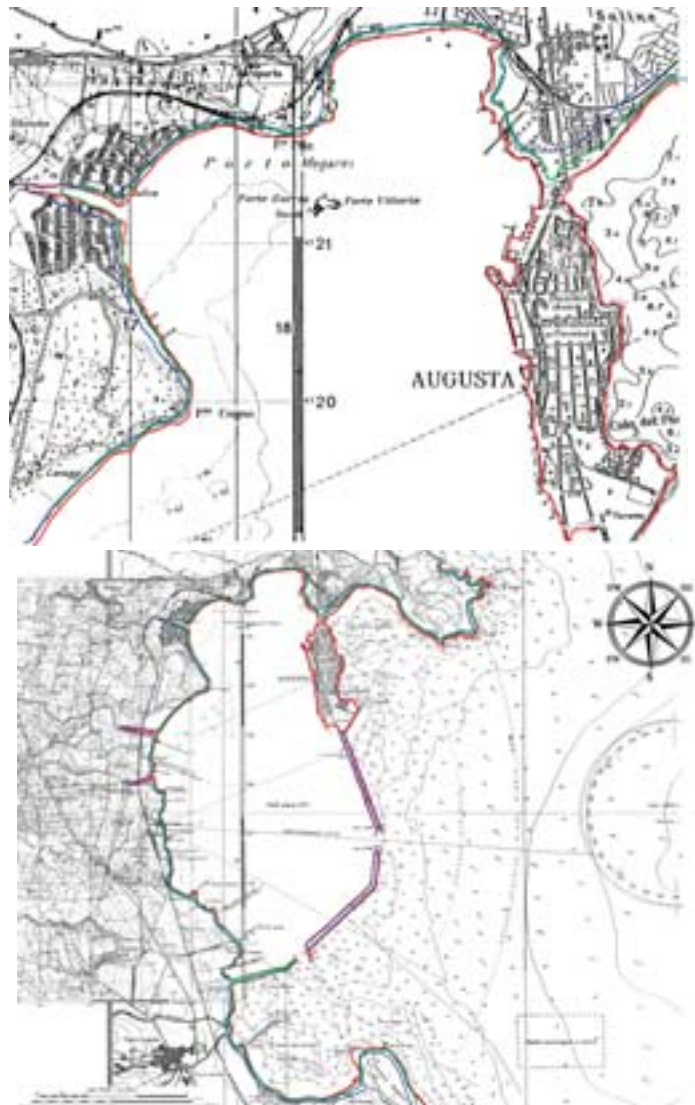


Figura 3. Confronto tra la linea di costa in condizioni di quiete e le linee di massima penetrazione dei maremoti innescati dai maremoti di scenario considerati. Le aree inondate sono sensibilmente coincidenti per i diversi maremoti (a meno di una maggiore penetrazione alle spalle del porto Xifonio). Pertanto, sotto l'ipotesi di impermeabilità, resistenza e non tracciabilità delle difese esterne, la costa interna della rada è sensibilmente al riparo da grandi danni. Al contrario, l'isola di Augusta risulta estremamente esposta; nel primo scenario (maremoto A) sull'isola si ha la risalita di un'onda di ampiezza pari a circa 1.5m mentre nel secondo scenario (maremoto B) si ha la risalita di un'onda di ampiezza pari a circa 3m. Dunque, l'energia distruttiva che impatta Augusta cambia notevolmente nei due scenari.

Per quanto riguarda il Terremoto di Scenario Disastroso(periodo di ritorno pari a 475 anni, avente il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni), le azioni sismiche orizzontali possono essere ritenute confrontabili con quanto prescritto dalla vigente Normativa Sismica italiana per una corrispondente ad una I Categoria.

A tale proposito, si ricorda che la normativa italiana non fa riferimento a nessun valore di accelerazione efficace (EPA), deducibile solo indirettamente, essendo lo spettro caratterizzato da un tratto iniziale costante che parte da un periodo $T=0$. Comunque il valori dell'EPA relativo alla I Categoria ($C=0.1$) è $EPA=0.32$ g, dello stesso ordine di grandezza di quello ottenuto per il Terremoto Disastroso ($EPA=0.35$ g). Tuttavia, è opportuno rilevare che gli spettri normativi derivano da forme spettrali medie e quindi non si riferiscono a specifici eventi. In altre parole non tengono conto di parametri di notevole importanza nella valutazione del potenziale distruttivo del moto del suolo quali, la magnitudo di un dato evento e la distanza di un dato sito dalla corrispondente sorgente sismica. Inoltre la normativa italiana non fornisce prescrizioni specifiche per la caratterizzazione del tipo di suolo corrispondente ad un dato sito. Questo aspetto è stato invece considerato nel presente studio per la definizione degli spettri di risposta che sono stati caratterizzati in relazione a diversi tipi di terreno. Infine, si segnala anche che le componenti verticali del moto del suolo sono state anch'esse derivate specificatamente per il sito in esame.

I valori proposti, che tengono conto dell'analisi storico-sismologica e dei caratteri sismotettonici dell'area in esame, sono in ottimo accordo con i valori ottenuti tramite la modellazione deterministica dell'input sismico, e risultano quindi appropriati per la caratterizzazione sismica dell'area di Priolo.

Sulla base delle precedenti considerazioni si può comunque ritenere che per la messa in sicurezza gli impianti, il passaggio da una II Categoria ad una I Categoria prevista dalla vigente Normativa Sismica non comporta elevati incrementi di costo. Si deve naturalmente prevedere una modellazione dei possibili effetti sugli impianti dovuti ai nuovi input sismici e quindi definire quali sono gli easy fixing su strutture, sistemi e componenti.

Per quanto riguarda il maremoto, le aree inondate sono sensibilmente coincidenti nei diversi casi considerati (a meno di una maggiore penetrazione alle spalle del porto Xifonio). Quindi, nell'ipotesi di impermeabilità, resistenza e non tracimabilità delle difese esterne, la costa interna della rada è sensibilmente al riparo da grandi danni. Al contrario, l'isola di Augusta risulta estremamente esposta, anche se l'energia distruttiva che impatta Augusta cambia notevolmente nei due scenari. Altri punti a rischio, anche se di diversa natura, sono le imboccature della rada in cui si ottengono velocità al passaggio del fronte d'onda superiori al metro al secondo.

5. BIBLIOGRAFIA

- Barbano, M.S. e Casentino, M. (1981). Il terremoto siciliano dell'11 Gennaio 1693. *Rend. Soc. Geol. It.*, 4, 517-522, 3 ff.
- Barbano, M.S. (1985). The Val di Noto earthquake of January 11, 1693. In: Postpischl D., (Editor), "Atlas of Isoseismal of the Italian Earthquakes", Consiglio Nazionale delle Ricerche, Quaderni "La Ricerca Scientifica", 114 (1A), 48-49.
- Boschi, E., Ferrari, G., Gasperini, P., Guidoboni, E., Smriglio, G. e Valensise, G. (1995). Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980. ING-SGA, Ozzano Emilia, 973 pp.
- Boschi, E., Guidoboni, E., Ferrari, G., Valensise, G. e Gasperini, P. (1997). Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990 (ING, Roma – SGA, Bologna), pp. 644.
- Costa, G., Panza, G.F., Suhadolc, P. e Vaccari, F. (1993). Zoning of the Italian territory in terms of expected peak ground acceleration derived from complete synthetic seismograms, *J. Appl. Geophys.*, 30, 149-160.
- Decanini, L. e Oliveto, G., (1994). Rapporto sulla Sicilia Sud Orientale, non pubblicato.
- Decanini, L. e Mollaioli, F. (1998). Formulation of Elastic Earthquake Input Energy Spectra, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27, 1503-1522.
- Decanini L., Mollaioli F., Panza G.F., Romanelli F. e Vaccari F., (2000). Pericolosità sismica della Sicilia Sud Orientale. Terremoti di Scenario per Augusta, Siracusa e Noto, in Scenari di pericolosità sismica ad Augusta Siracusa e Noto (a cura di L.Decanini e G.F. Panza), CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti – Roma 2000, 200 pp.
- Fäh, D., Iodice, C., Suhadolc, P. e Panza, G.F. (1993). A new method for the realistic estimation of seismic ground motion in megacities: the case of Rome, *Earthquake Spectra*, 9, 643-668.
- Florsch, N., Fäh, D., Suhadolc, P. e Panza, G.F. (1991): Complete Synthetic Seismograms for High-Frequency Multimode SH-Waves, *PAGEOPH*, 136, 529-560.
- Lombardo, G. (1985). The Catania earthquake of February 4, 1693. In: Postpischl D. (Ed.), Atlas of isoseismal maps of Italian earthquake, PFG-CNR, Quaderni Ricerca Scientifica 114, 2A, Bologna, pp. 12-13.
- Mohammadioun, B. e Serva, L. (2001). Stress Drop, Slip Type, Earthquake Magnitude and Seismic Hazard, *Bull. Seism. Soc. Am*, 91, 4, 694 – 707.
- Panza, G. F. (1985). Synthetic Seismograms: the Rayleigh Waves Modal Summation, *J. Geophys.*, 58, 125-145.
- Panza, G.F., Romanelli, F. e Yanovskaya T. (2000). Synthetic Tsunami mareograms for realistic oceanic models, *Geophysical Journal International*, 141, 498-508.
- Panza, G.F., Romanelli F. e Vaccari, F. (2001). Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media: Theory and applications to seismic zonation, *Advances in Geophysics*, Vol. 43, pp. 1-95, Academic Press, San Diego.

-
- Romanelli, F. e Vaccari, F. (1999). Site response estimation and ground motion spectral scenario in the Catania Area, *J. Seism.*, 3, 311-326
- Scholz, C.H. (1990). *The mechanics of earthquakes and faulting*. Cambridge University Press, 1990, 439 pp.
- Slemmons, D.B. e de Polo, C.M. (1986). Evaluation of active faulting and associated hazard. In: Wallace, R.E., (Panel Chairman), *Active Tectonics*, National Academy Press, Washington, D.C., 45-62.
- Uang, C. M. e Bertero, V. V. (1990). Evaluation of seismic energy in structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 19, 77-90.
- Yanovskaya, T., Romanelli, F. e Panza, G.F. (2002). Green function technique for the modeling of Tsunami wave excitation and propagation, submitted to NHESS.
- Wells, D.L. e Coppersmith, K.J. (1994). New empirical relationships among Magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacements. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.84, N.4, pp. 974-1002.

6. APPENDICE

L'appendice della monografia "La messa in sicurezza dell'area industriale di Priolo-Augusta rispetto ai rischi da terremoto e maremoto" viene fornita in forma digitale attraverso il CD-ROM allegato. Esso contiene la parte essenziale della documentazione prodotta ed è organizzata in settori.

Nel primo settore sono contenuti (in formato PDF) i rapporti preliminari e finale redatti dai diversi gruppi di lavoro (GdL), i cui titoli vengono riportati di seguito.

- ICTP Trieste (Resp. Prof. G. F. Panza)
 - o "Esempi di calcolo di mareogrammi sintetici per terremoto di riferimento".
 - o "Calcolo di mareogrammi sintetici per terremoto di riferimento: studi parametrici e tsunami site-specific seismic hazard".
 - o "Calcolo di mareogrammi sintetici per terremoto di riferimento: input per metodo ibrido; Stima dell'input sismico".
- Ing. R. Piscopia
 - o "Modellazione dettagliata tsunami - Sviluppo di un codice numerico per la soluzione delle equazioni idrodinamiche in acque basse".
 - o "Modellazione delle onde di maremoto - Previsione dell'impatto di un'onda di maremoto di assegnate caratteristiche sulla costa di Augusta e di Priolo".
- Università degli Studi dell'Insubria, Como (Resp. Prof. A. M. Michetti)
 - o "Geologia e vulnerabilità dell'ambiente fisico a fronte di forti eventi sismici - Primo rapporto".
 - o "Geologia e vulnerabilità dell'ambiente fisico a fronte di forti eventi sismici - Secondo rapporto".
- Università di Roma 1 "La Sapienza" (Resp. Prof. L. Decanini)
 - o "Caratterizzazione dei terremoti di scenario a Priolo".
 - o "Storia sismica di Priolo - catalogo locale; occorrenza dei risentimenti delle intensità a Priolo - Allegato 1".
 - o "Confronto tra le azioni sismiche di normativa e quelle proposte per l'area di Priolo - Allegato 2".
- Rapporto finale – "La messa in sicurezza dell'area industriale di Priolo-Augusta rispetto ai rischi da terremoto e maremoto".

Nel secondo settore sono reperibili (in formato JPEG) dati di sondaggio e di indagini geognostiche disponibili per l'area (più di 200 perforazioni e diverse indagini geoleitriche e sismiche). Questo materiale ha fornito elementi di base per la ricostruzione dell'evoluzione geologica recente dell'area, per la definizione della vulnerabilità dell'ambiente fisico, e per la valutazione degli effetti a scala locale (effetti di sito), nella propagazione delle onde sismiche.

Sono stati, inoltre, inseriti (vedi sezione "Università degli Studi dell'Insubria") in una versione ad alta risoluzione tre profili stratigrafico-strutturali, già inclusi come immagini a bassa definizione all'interno dei rapporti preliminari. Questi profili, eseguiti per l'a-

rea di Priolo, hanno permesso di definire, direzione e inclinazione delle faglie che interessano l'area investigata, giacitura, spessore e distribuzione dei litotipi presenti, con particolare attenzione per quelli marini e alluvionali recenti, che condizionano gli effetti di amplificazione dello scuotimento durante eventi sismici rilevanti.