

VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO NEL DISTRETTO INDUSTRIALE DELLA CITTÀ DI CATANIA

Rinaldini A. *, Pecci M. *, Marino A. *, Ciucci M*. & Damiani F*.

*ISPESL/D.I.P.I.A.- Via Urbana 167, 00184 Roma

SOMMARIO

Catania, situata sulla costa ionica siciliana, è una fra le città italiane potenzialmente soggetta a tutte le categorie di rischio geologico – rischio vulcanico, idrogeologico e sismico - a causa della sua prossimità a strutture fisiografiche e tettoniche di importanza regionale. L'alta vulnerabilità della città è dovuta alla sua particolare posizione, situata sul versante sud-orientale dell'Etna e sul margine settentrionale della piana del fiume Simeto che hanno reso quest'area esposta, in tempi sia preistorici che recenti, a frequenti invasioni di colate laviche e soggetta ad estesi fenomeni alluvionali. Su scala regionale, gran parte della Sicilia orientale è inoltre soggetta ad un'attiva dinamica crostale che ha determinato nel corso dell'ultimo millennio il verificarsi di numerosi eventi tellurici catastrofici, con intensità fino a XI-XII MCS.

La municipalità di Catania vanta la presenza di uno tra i più importanti distretti industriali del Mezzogiorno, situato nella periferia meridionale della città, all'interno del quale operano anche diversi impianti soggetti al D. Lgs. 334/99. Scopo del presente lavoro è la realizzazione di una mappa di rischio sismico del distretto industriale del capoluogo etneo al fine di individuare, attraverso lo sviluppo di un GIS, gli impianti situati in aree soggette a fenomeni di amplificazione sismica e di liquefazione dei terreni. La metodologia permette inoltre di effettuare, attraverso l'analisi degli effetti di sito, la valutazione del rischio globale industriale di tutta l'area con riferimento alle massime potenzialità di danno a cui gli impianti possono essere soggetti e ad eventuali effetti domino tra impianti limitrofi.

1. ATTIVITA' PRODUTTIVE DI CUI AL D. LGS. 334/99

La municipalità di Catania vanta la presenza di uno tra i più importanti distretti industriali del Mezzogiorno, situato a circa 3 chilometri dalla periferia meridionale della città. Le attività produttive sono distribuite su una superficie totale di circa 60 ettari, in un territorio prevalentemente pianeggiante costituito da un antico bacino marino, in cui si è depositata una potente successione di argille siltoso-marnose e sabbie appartenenti al ciclo infra-mediopleistocenico. La successione sedimentaria termina con la deposizione di materiali di ambiente lagunare e palustre di età quaternaria che testimoniano la chiusura del ciclo deposizionale. In affioramento sono presenti depositi alluvionali recenti con spessori variabili tra i 40 e gli 80 m che degradano a mare verso i depositi costieri.

Le attività industriali a rischio di incidente rilevante sono attualmente soggette al D. Lgs. 334/99 (Seveso II), che recepisce la Direttiva 96/82/CE, relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose [1]. Esse sono classificate in base alla quantità, pericolosità e presenza reale o prevista delle sostanze riportate nell'allegato I al citato decreto. Le informazioni sugli impianti sono state ricavate dalle banche dati del Ministero dell'Ambiente e dell'I.S.P.E.S.L.

Le attività industriali soggette agli articoli 6 e 8 del D.Lgs. 334/99 nell'area catanese sono complessivamente 8, la maggior parte delle quali sono depositi di imbottigliamento GPL, ma sono anche presenti stabilimenti chimici, depositi atmosferici di gasolio e sostanze infiammabili e uno stabilimento di fitofarmaci. Le attività industriali soggette all'art. 8 (notifica) del D.Lgs. 334/99 nell'area oggetto di studio, sono 2 la cui attività produttiva si sviluppa nell'imbottigliamento di GPL.

Informazioni dettagliate su tali impianti sono contenute nei rapporti di sicurezza. Da alcune informazioni sul *layout* degli impianti, è stato possibile condurre uno studio sulla distribuzione degli elementi a rischio dell'impianto e, in particolare sul contesto territoriale in cui si trovano i depositi di sostanze tossiche e infiammabili. E' stata inoltre analizzata la distribuzione delle superfici degli impianti e dei depositi, distinti come superficie coperta, superficie scoperta e, per i depositi, la superficie occupata dai serbatoi fuori terra. E' stata assunta come superficie scoperta dello stabilimento quella parte di superficie occupata da strade di accesso e parcheggi, e come superficie coperta, quella occupata dagli edifici, dagli elementi impiantistici, stazioni di travaso, carico-scarico, pipe-rack e pipe-line all'aperto.

Per quanto riguarda i depositi, si è posta l'attenzione alle varie tipologie impiegate: infatti sono presenti serbatoi fuori terra, considerati come superficie scoperta, serbatoi interrati alla profondità di circa 1 metro dal

piano campagna, e serbatoi tumulati cioè ricoperti da uno strato di inerti dello spessore di circa 75 cm, considerati come superficie coperta. E' risultato che i serbatoi interrati o tumulati sono ubicati per lo più nei depositi soggetti all'obbligo di notifica; nei depositi soggetti all'obbligo della dichiarazione invece prevalgono i serbatoi fuori terra.

2. GEOLOGIA DELL'AREA DI CATANIA

La Sicilia costituisce un segmento dell'articolato limite collisionale esistente tra Africa ed Europa. Nella parte orientale dell'isola la catena a pieghe e sovrascorrimenti degli Iblei è costituita da una pila di falde che si depositarono sul margine del continente africano a partire dal tardo Triassico. Nel Paleogene, a seguito dei processi collisionali sviluppatasi, i complessi sedimentari furono deformati e successivamente (Miocene medio) sovrascorsi sulla piattaforma carbonatica che costituiva l'avampaese rispetto al sistema di deformazioni in atto.

La geologia della piana di Catania va considerata nel complesso quadro strutturale dell'intera Sicilia orientale, controllato da una parte dal sistema avampaese-avanfossa e dall'altro dal correlato magmatismo, sia dell'Etna, sia dell'avampaese Ibleo. In particolare, l'assetto strutturale della piana di Catania vede la prosecuzione verso Nord delle vulcaniti iblee (Miocene superiore-Pleistocene inferiore), che si approfondiscono progressivamente grazie anche ad una serie di faglie distensive di età tardo pliocenica, con orientazione parallela a quelle affioranti. L'attività vulcanica e tettonica di questo periodo appare migrare da Nord verso Sud.

Al passaggio Pliocene-Pleistocene, nella parte centrale e sepolta della piana, sono stati riconosciuti degli edifici vulcanici coalescenti del Pliocene superiore - Pleistocene inferiore, non presenti però in affioramento [2]. Nella parte settentrionale della piana a partire dal Pleistocene inferiore sono stati rinvenuti dei corpi magmatici con provenienza dall'area etnea, che si intercalano ai depositi della rapida sedimentazione del bacino catanese, esso stesso in rapida evoluzione. La facies petrografia di questi prodotti è generalmente da alcalina a transizionale, con importanti episodi tholeitici tra il Pliocene superiore e il Pleistocene inferiore e al passaggio Pleistocene medio-superiore. La sedimentazione continua nell'Olocene con *facies* per lo più di transizione o continentali.

3. EVENTI SISMICI STORICI NELLA SICILIA ORIENTALE

Situata nel centro del Mediterraneo, la Sicilia è stata sempre considerata in una posizione strategica per il controllo delle vie del commercio con l'Asia minore, e per tale motivo fu teatro di numerose guerre che resero l'isola nel corso dei secoli soggetta alle dominazioni bizantina, araba, normanna e spagnola. In un simile contesto, i documenti storici a noi pervenuti hanno per lo più dedicato attenzione agli eventi militari, trascurando, anche per ragioni politiche e culturali, i fenomeni naturali che a volte si sovrapponevano agli eventi bellici [3]. I riferimenti ad eventi sismici in Sicilia risultano quindi scarsi e lacunosi - a differenza di un ampio *record* storico presente per il resto della penisola -, tuttavia alcuni manoscritti permettono di datare i terremoti più violenti ed avere un quadro degli effetti indotti sui centri urbani e sull'ambiente.

Per quanto riguarda Catania, la città fu completamente rasa al suolo da due terremoti catastrofici ($I_{max} = X-XI$ MCS), mentre subì danni più o meno gravi in occasione di una decina di altri eventi sismici (fig. 1). Recentemente il sisma del 13 dicembre 1990, noto con il nome di "terremoto di Santa Lucia", nonostante i valori di magnitudine registrati relativamente modesti ($M 5.4$ e $I=VII-VIII$ MCS), fu avvertito su una vasta area provocando 19 vittime e gravi danni a strutture ed edifici. A seconda del grado di intensità si può avere una prima indicazione sulla localizzazione dell'area epicentrale. La sismicità è infatti distribuita prevalentemente in due settori: terremoti dalle caratteristiche distruttive vengono attribuiti alla scarpata ibleo-maltese, mentre eventi con effetti meno drammatici sono generalmente dovuti a sismi i cui epicentri sono localizzati nello Stretto di Messina o all'interno della regione degli Iblei.

Di seguito vengono brevemente descritti i terremoti che danneggiarono o distrussero nel corso dei secoli la città di Catania. Le informazioni sono tratte dal "Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a. C. al 1990" [4] e ne vengono evidenziati gli effetti più importanti, con particolare riguardo all'entità dei danni subiti dagli edifici, al numero di vittime e ai fenomeni naturali indotti dagli eventi sismici sull'ambiente.

◆ *Terremoto del 1169*

Il disastroso evento tellurico del 4 febbraio 1169 colpì l'intero settore della Sicilia orientale e parte della Calabria meridionale, distruggendo 11 centri abitati e provocando danni ingenti in tutta l'area. Catania fu completamente distrutta dal sisma ($I = X$ MCS), e negli scarsi documenti dell'epoca si riporta il completo collasso di tutti gli edifici e la morte della maggior parte degli abitanti (circa 15.000 persone).

Il terremoto fu concomitante ad un'eruzione dell'Etna, e sul versante settentrionale parte del cratere collassò. Tra i vari effetti sull'ambiente, va inoltre registrato la formazione di uno tsunami che provocò, poco prima del suo arrivo, un abbassamento temporaneo delle acque nel porto di 5 m, e successivamente ampi fenomeni di esondazione nei pressi della foce del fiume Simeto.

◆ *Terremoto del 10 dicembre 1542*

Il sisma fu distintamente avvertito in tutta la Sicilia e colpì in particolare l'entroterra collinare e montuoso degli Iblei, radendo al suolo centri come Lentini, Melilli ed Avola. A Catania si stima che il terremoto abbia avuto un'intensità I pari a VII-VIII MCS, con danni considerevoli e diffusi. Chiese e monasteri subirono gravi lesioni; molti edifici crollarono e altri dovettero subire ampi interventi di riparazione. Nella parte occidentale della città un intero quartiere fu distrutto, ma solamente sei persone rimasero uccise dall'evento, probabilmente perché la scossa avvenne in pieno giorno quando la maggioranza delle persone si trovava all'aperto. Il terremoto causò un'onda di maremoto che ebbe gli effetti più devastanti nella città di Augusta. Manoscritti dell'epoca riportano la distruzione di edifici causati anche da fenomeni di liquefazione dei terreni.

◆ *L'evento sismico del gennaio 1693*

Questo terremoto rappresenta la più grave catastrofe sismica della Sicilia orientale. Tutte le città della Sicilia sud-orientale furono sconvolte e il terremoto fu avvertito sensibilmente dalla Calabria settentrionale alla costa tunisina. L'evento sismico distrusse circa 40 centri abitati in una vastissima area compresa tra Catania, Siracusa e Ragusa. Il terremoto si verificò in due riprese, a distanza di due giorni: la prima scossa si verificò alle ore 4:30 del 9 gennaio e a Catania ebbe l'effetto di terrorizzare la popolazione distruggendo non solo le case meno solide, ma danneggiando seriamente anche gli edifici più importanti come monasteri e palazzi ($I=VIII$ MCS); la seconda scossa (ore 21:00) ebbe un effetto ancora più devastante poiché colpì una città i cui edifici erano già stati seriamente lesionati, distruggendola completamente, con collassi totali o parziali degli edifici ($I=X-XI$ MCS). La statistica ufficiale redatta nel mese di maggio dello stesso anno, riporta un numero di circa 54.000 morti in tutte le zone colpite dal terremoto. A Catania la perdita in vite umane fu enorme: durante il sisma perirono più di 12.000 persone, pari al 63% della popolazione totale allora residente.

Gli effetti sull'ambiente indotti dal sisma furono di intensità e dimensioni notevoli: un'intensa attività dell'Etna accompagnò il periodo sismico; in vaste aree si aprirono fratture nel terreno da cui esalavano gas sulfurei, e fuoriuscivano fango ed acqua calda. In tutta l'area colpita dal terremoto scomparvero molte sorgenti; altre comparvero o variarono la loro portata, la salinità e la colorazione delle acque. Effetti di maremoto in occasione della seconda scossa furono segnalati in molte località costiere della Sicilia orientale.

◆ *Febbraio 1818*

Il sisma del 20 febbraio 1818 ebbe il suo epicentro proprio a nord di Catania. Distrusse numerosi villaggi sul versante orientale dell'Etna, causando danni su una vasta area tra Catania e la Sicilia settentrionale e fu avvertito a Malta e in Calabria. Le vittime furono 72 e i feriti circa 100. A Catania l'intensità calcolata fu pari a VII MCS, con più di 1700 abitazioni danneggiate; di queste oltre il 35% dovettero essere puntellate o demolite. La città era stata completamente ricostruita dopo il sisma del 1693, era quindi "nuova" dal punto di vista della conservazione del patrimonio edilizio. Numerose fenditure si aprirono nel terreno in tutta l'area dove si registrarono i massimi effetti; anche a Catania si aprirono profonde spaccature nel suolo. Effetti di maremoto si verificarono a Messina, dove il mare invase le strade cittadine.

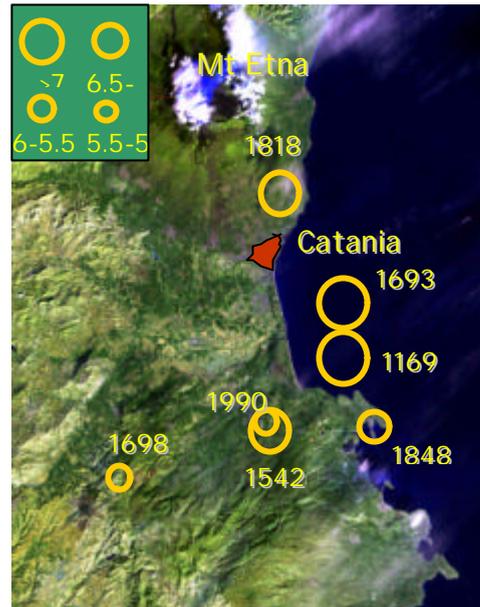


Figura 1. Epicentri e magnitudo stimata dei terremoti storici nella città di Catania.

In base ai documenti relativi alla sismicità storica, è ragionevole considerare come massimo evento atteso per la città di Catania un terremoto dalle caratteristiche analoghe ai sismi degli anni 1169 e 1693, con intensità pari a X-XI° MCS e una magnitudo M valutata tra 7 e 7.4.

Uno studio finalizzato ad individuare i tempi di ritorno di eventi sismici nella città di Catania [5] indica, per terremoti catastrofici simili all'evento verificatosi nel 1693, periodi medi di ritorno variabili tra i 250 ai 500 anni; invece sismi con valori di intensità pari a VII MCS come quello che si verificò nel 1818 hanno una frequenza stimata tra i 40 e i 90 anni (fig. 2).

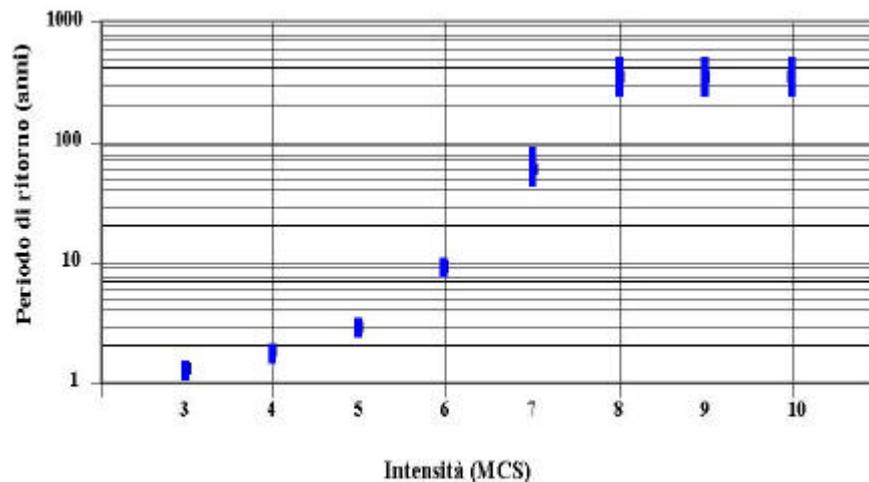


Figura 2. Periodi medi di ritorno ed errore associato per terremoti nella Sicilia orientale (da [5], modificata)

4. SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE

Per la valutazione del rischio sismico nel distretto industriale del capoluogo etneo è stato sviluppato un GIS dedicato procedendo per strati informativi tematici. I vari *layers* sono stati realizzati mediante digitalizzazione su base cartografica IGM in scala 1:25.000 rasterizzata e georeferenziata, il tutto limitato all'area di studio, costituito da un reticolo di km 10×8 . Il software scelto nell'elaborazione del SIT è stato Arc-View® GIS vers.3.1, caratteristico per la sua flessibilità e modularità. Il GIS si sviluppa su vari livelli informativi di cui la base in formato raster è costituita da foto aeree in scala 1:10.000 acquisite dall'A.I.M.A durante una campagna di voli compiuti nel 1990.

Per la stima della risposta sismica locale e la valutazione degli effetti di sito nella Piana di Catania sono stati utilizzati i risultati di uno studio sull'area ottenuti dal modello proposto da Priolo [6]. Il modello risolve l'equazione bidimensionale delle onde sismiche attraverso il metodo degli elementi spettrali di Chebyshev, che permette il calcolo degli elementi dello spettro delle onde sismiche. I risultati, espressi in termini della componente orizzontale delle accelerazioni al suolo delle onde sismiche, sono stati ottenuti lungo transeiti distribuiti in modo omogeneo all'interno della Piana di Catania. La mappa delle accelerazioni al suolo è stata ricavata elaborando tali informazioni con il programma Surfer® della Golden Software e utilizzando il metodo "kriging" per l'interpolazione spaziale dei valori puntuali.

Per la caratterizzazione dei terreni ai fini della valutazione della loro suscettibilità alla liquefazione sono stati acquisiti i dati di una campagna di SPT e CPT condotta nella piana di Catania [7]. Tale procedura è ormai di uso comune ed ha reso possibile individuare le aree più o meno suscettibili al fenomeno della liquefazione.

Alle informazioni territoriali è stato associato un database relazionale per le industrie soggette ad obbligo di notifica di cui al D. Lgs. 334/99 ricavato dalle banche dati del Ministero dell'Ambiente, della Protezione Civile e dell'I.S.P.E.S.L. Il database contiene informazioni di carattere alfanumerico come la tipologia del processo produttivo delle industrie presenti nell'area esaminata, le caratteristiche impiantistiche, la loro localizzazione cartografica e indicazioni qualitative e quantitative delle sostanze pericolose trattate negli impianti. Per le industrie soggette all'obbligo della dichiarazione nel GIS sono stati inseriti i dati relativi alla localizzazione e alla tipologia dell'attività produttiva.

Nel GIS sono stati inoltre inseriti ulteriori dati di tipo vettoriale riguardanti i reticoli dei confini comunali, i reticoli autostradale, stradale e ferroviario in scala 1:100.000 e il reticolo idrografico in scala 1:25.000. E' stata inoltre condotta un'analisi spazio-temporale delle modificazioni antropiche e dell'uso del suolo, in particolare

legati all'evoluzione degli sviluppi industriale ed urbano, attraverso l'utilizzo di immagini da satellite Landsat-TM 6 multitemporali; sulle quali sono state effettuate operazioni di *stretching*, classificazioni ed impiego di tecniche di elaborazione digitale dei dati opportunamente georiferiti ai fini della sovrapposizione dei vari strati informativi.

5. VALUTAZIONE DEL RISCHIO D'AREA

Gli effetti di sito causati da un terremoto sono determinati da due fattori principali: l'intensità dell'accelerazione che subisce il terreno al passaggio delle onde sismiche e la vulnerabilità d'area, ossia da come sono costruiti gli edifici e i manufatti interessati dall'evento tellurico. Ai fini della riduzione del rischio sismico è quindi importante individuare le aree in cui maggiore è l'effetto di amplificazione del suolo e definire le frequenze con le quali tali aree tendono ad oscillare.

Nell'analisi della valutazione del rischio sismico nel distretto industriale di Catania, sono state considerate due tipologie di danno atteso indotto dal transito di onde sismiche prodotte da un terremoto di riferimento dalle caratteristiche distruttive come quello che si verificò nel 1693: vengono di seguito analizzate le aree in cui sono localizzati impianti industriali dove sono più ampi i fenomeni di amplificazione sismica e le zone in cui le caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione rendono le litologie suscettibili a fenomeni di liquefazione.

5.1 Amplificazione sismica

Il fenomeno dell'amplificazione sismica è originata dallo specifico assetto geologico di una data area. Gli effetti maggiori si verificano in quelle situazioni in cui sedimenti dalle proprietà geomeccaniche scadenti giacciono sopra ad un *bedrock* rigido. In tale condizione le onde sismiche vengono "intrappolate" a causa del contrasto di impedenza tra litologie dalle caratteristiche differenti. Ciò dà origine a fenomeni di risonanza delle onde la cui forma e frequenza dipende dalle caratteristiche meccaniche e geometriche del mezzo. Il riconoscimento dell'azione di smorzamento o di amplificazione delle onde sismiche, costituisce lo scopo delle tecniche di microzonazione sismica.

Tra i vari parametri utilizzati per la valutazione degli effetti di sito, le accelerazioni massime del suolo (*Peak Ground Accelerations* -PGA) rappresentano uno degli strumenti più comunemente usati per la valutazione dei fenomeni di amplificazione del suolo. Le accelerazioni determinano un movimento relativo del terreno, con componente sia orizzontale che verticale; fra queste, le accelerazioni orizzontali sono le più distruttive. Esse vengono definite come le accelerazioni massime dello spettro di frequenza di un terremoto esclusi i valori di picco di brevissima durata e di alta frequenza.

Per la stima della risposta sismica locale e la valutazione degli effetti di sito nella Piana di Catania sono stati utilizzati i risultati ottenuti dal modello proposto da Priolo [6]. Il modello risolve l'equazione bidimensionale delle onde attraverso il metodo degli elementi spettrali di Chebyshev, che permette il calcolo degli elementi dello spettro delle onde sismiche. Questa tecnica di calcolo risolve la formulazione variazionale dell'equazione differenziale. Una delle caratteristiche di tale metodo è inoltre l'utilizzo di griglie irregolari le quali consentono di riprodurre in modo accurato geometrie complesse. I dati, elaborati attraverso l'ausilio di sismogrammi sintetici, hanno permesso una modellazione numerica del campo d'onde generato da un evento sismico catastrofico come quello del 1693 ($M \approx 7.2$), comunemente associato al verificarsi di una rottura nel sistema di faglie costituenti la scarpata Ibleo-maltese.

I risultati sono visualizzati in termini di accelerazione sismica del suolo lungo alcuni transetti distribuiti nell'area municipale di Catania e forniscono un buon campionamento spaziale della piana e del distretto industriale. I risultati ottenuti dal modello sono visualizzati attraverso l'involuppo dei valori di accelerazione al suolo rispetto alla distanza epicentrale.

Nel modello elaborato vengono infine considerati simultaneamente tutti gli elementi che influenzano la propagazione delle onde sismiche, tra cui le modalità di rottura della faglia Ibleo-maltese, la posizione della sorgente rispetto all'area di impatto, le eterogeneità crostali, le caratteristiche geologiche e topografiche superficiali dell'area investigata e l'analisi di diverse linee sismiche.

5.2 Suscettibilità alla liquefazione

Fenomeni di liquefazione dei terreni indotti dall'azione di onde sismiche si sono verificati nella piana di Catania in occasione dei terremoti del 1542, 1693 e del 1818 [3]. La liquefazione è originata dall'azione di scuotimento ciclico indotto dalle onde sismiche su terreni incoerenti, saturi e con un elevato indice dei vuoti. Il passaggio di onde sismiche genera un repentino incremento della pressione interstiziale, che ha l'effetto di annullare la resistenza al taglio del materiale. In queste condizioni le particelle del suolo possono rapidamente muoversi una rispetto all'altra, generando in superficie lunghe fratture lineari e voragini di dimensioni variabili da cui fuoriesce una miscela di acqua e fango.

Per la caratterizzazione dei terreni ai fini della valutazione della loro suscettibilità alla liquefazione, è stata costruita una mappa tematica in cui i vari litotipi sono raggruppati in classi dalle caratteristiche litotecniche simili. I parametri sono stati acquisiti durante una campagna di indagini geognostiche SPT e CPT condotta nella piana di Catania [7] ed in particolare nell'area di San Giuseppe La Rena, situata nel limite settentrionale del distretto industriale e nella zona a ridosso dell'aeroporto. I dati acquisiti sono stati integrati con i valori ricavati da altri sondaggi geognostici riportati in letteratura. Le indagini SPT e CPT non solo permettono di avere indicazioni sulla densità relativa e sulla struttura del materiale, ma consentono anche di ricavare la resistenza al taglio del terreno in condizioni non drenate. Tale procedura è ormai di uso comune ed ha reso possibile lo sviluppo di correlazioni empiriche affidabili tra valori di SPT, CPT e fenomeni di liquefazione.

Dalle indagini risulta che le sabbie costiere della piana di Catania hanno una densità relativa media del 70-75% e un contenuto di materiale fine inferiore al 30% fino ad una profondità di circa 12 m. I dati sono stati elaborati attraverso un'analisi parametrica per valutare l'influenza della massima accelerazione al suolo g con l'indice di potenziale liquefazione P_L [7]; i risultati sono visualizzati in tabella 1.

Valori di $P_L < 5$ indicano un basso rischio di liquefazione, mentre un alta suscettibilità alla liquefazione è prevista per valori di P_L compresi tra 5 e 15. L'analisi parametrica ha mostrato che per valori di magnitudo M inferiori a 6.5 e massime accelerazioni al suolo g minori di 0.5, il rischio di liquefazione dei terreni è basso, mentre per terremoti che rilasciano un quantitativo di energia maggiore, le sabbie che costituiscono la parte orientale della piana sono suscettibili a fenomeni di liquefazione.

Tabella 1. Valori di P_L in funzione della magnitudo M e di a_{max} , [7].

M	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
a_{max}/g	Indice di liquefazione potenziale P_L							
0.10						0.03	0.18	0.31
0.15				0.01	0.22	0.43	0.81	1.40
0.20			0.07	0.27	0.57	1.26	2.24	3.75
0.25		0.03	0.26	0.57	1.34	2.79	4.40	5.97
0.30		0.20	0.49	1.20	2.59	4.56	6.26	7.93
0.35	0.08	0.32	0.91	2.05	4.10	6.13	7.91	9.67
0.40	0.20	0.53	1.42	3.27	5.42	7.55	9.43	11.01
0.45	0.30	0.88	2.15	4.41	6.67	8.90	10.65	12.06
0.50	0.44	1.26	3.13	5.47	7.78	10.05	11.63	12.89

6. MAPPE DELLE ACCELERAZIONI AL SUOLO

Forti terremoti che hanno colpito recentemente aree urbane e industriali come in Giappone (Kobe, 1995) o in Turchia (Izmit, 2000), hanno evidenziato che i danni strutturali e il rischio di perdita di vite umane possono essere molto elevati. In uno stesso sito inoltre gli effetti possono variare notevolmente anche a breve distanza, per cui per poter disporre di scenari di rischio attendibili, è necessario disporre, oltre che informazioni sulla modalità di costruzione delle infrastrutture presenti, anche di una stima dei valori attesi delle accelerazioni di picco del terreno (PGA) nelle varie aree.

Per l'area di Catania i valori delle accelerazioni al suolo g , elaborati attraverso l'ausilio di sismogrammi sintetici [6], sono relativi ad un modello che ha come scenario il verificarsi di un evento sismico catastrofico come quello che colpì il capoluogo etneo nel 1693 ($M_s \approx 7.2$), comunemente associato alla formazione di una discontinuità con movimento relativo nel sistema di faglie costituenti la scarpata Ibleo-maltese. Nel GIS sono stati inseriti inoltre altri *layers* vettoriali il cui tematismo visualizza la profondità, rispetto al piano campagna, del tetto del substrato impedente costituito da limi sabbiosi e argille sovraconsolidate di età pliocenica. Infine, attraverso dati alfanumerici, vengono visualizzate nel sistema le posizioni degli impianti industriali a rischio di

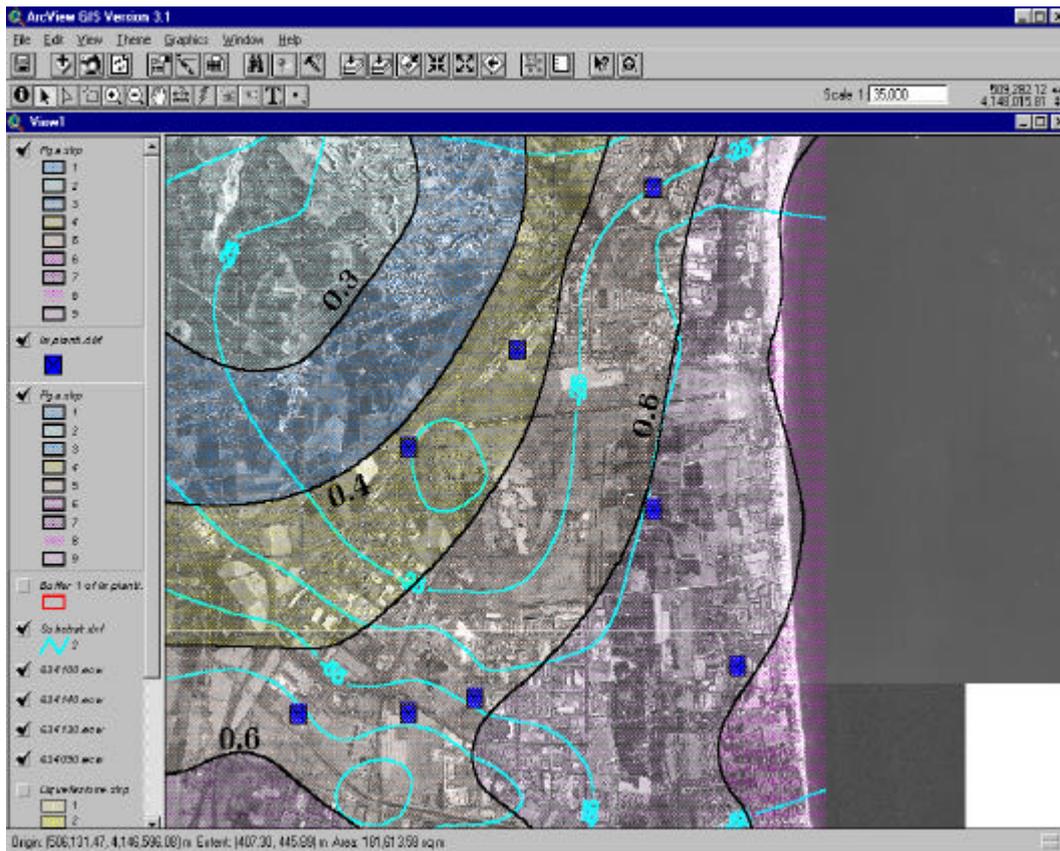


Figura 3. Andamento delle accelerazioni al suolo g nella Piana di Catania.

incidente rilevante. L'insieme dei dati, una volta inseriti nel GIS, permette di visualizzare l'andamento delle PGA nell'area in studio e trarre delle valutazioni riguardo al rischio d'area.

I valori di PGA ottenuti dal modello elaborato, tendono a ridursi in modo progressivo verso l'entroterra, con un *range* variabile da 0.7 a 0.3 gal (figura 3). Dalla figura si osserva che l'andamento delle PGA decresce con un trend generale sud-ovest nord-est probabilmente dovuto all'assetto morfologico del substrato impedente, la cui profondità tende ad aumentare verso sud, fino ad un valore di circa 80 m nell'area del distretto industriale, per approfondirsi ulteriormente in corrispondenza dell'asta fluviale del fiume Simeto.

Inoltre si osserva che sulla totalità degli impianti presenti, 6 attività produttive (localizzate o in vicinanza della costa o all'interno del distretto industriale) ricadono in un'area in cui è presumibile attendersi dei valori di PGA variabili tra 0.7 e 0.5 gal; tali impianti sono costituiti da depositi atmosferici di liquidi infiammabili, depositi di GPL e stabilimenti chimici. Nella zona centrale dell'area investigata ricadono infine due impianti che possono essere sottoposti ad accelerazioni del suolo comprese tra 0.4 e 0.45 gal.

Il GIS, attraverso l'inserimento di molteplici tematismi, fornisce un quadro esauriente della elevata pericolosità sismica dell'area investigata e consente di trarre un giudizio tale da affermare che il distretto industriale del capoluogo etneo – ed in particolare il settore centro-orientale risulta essere altamente vulnerabile agli effetti indotti da uno scuotimento sismico.

7. AREE A RISCHIO LIQUEFAZIONE

La liquefazione assume un ruolo non secondario nella valutazione del rischio della piana alluvionale del fiume Simeto, dove sono situate numerose attività produttive ed importanti strutture civili quali l'aeroporto, la ferrovia, l'autostrada e altre linee di comunicazione. Parametri fondamentali per la valutazione del rischio sono stati ottenuti dai valori delle accelerazioni al suolo g , dalla profondità del substrato impedente e dalle proprietà meccaniche e granulometriche dei sedimenti sabbiosi della piana. L'elaborazione in ambiente GIS ha permesso di ricavare informazioni che consentono di discriminare nell'area in esame in tre diversi settori più o meno suscettibili ai fenomeni di liquefazione, da cui è stata elaborata una mappa di rischio (figura 4).

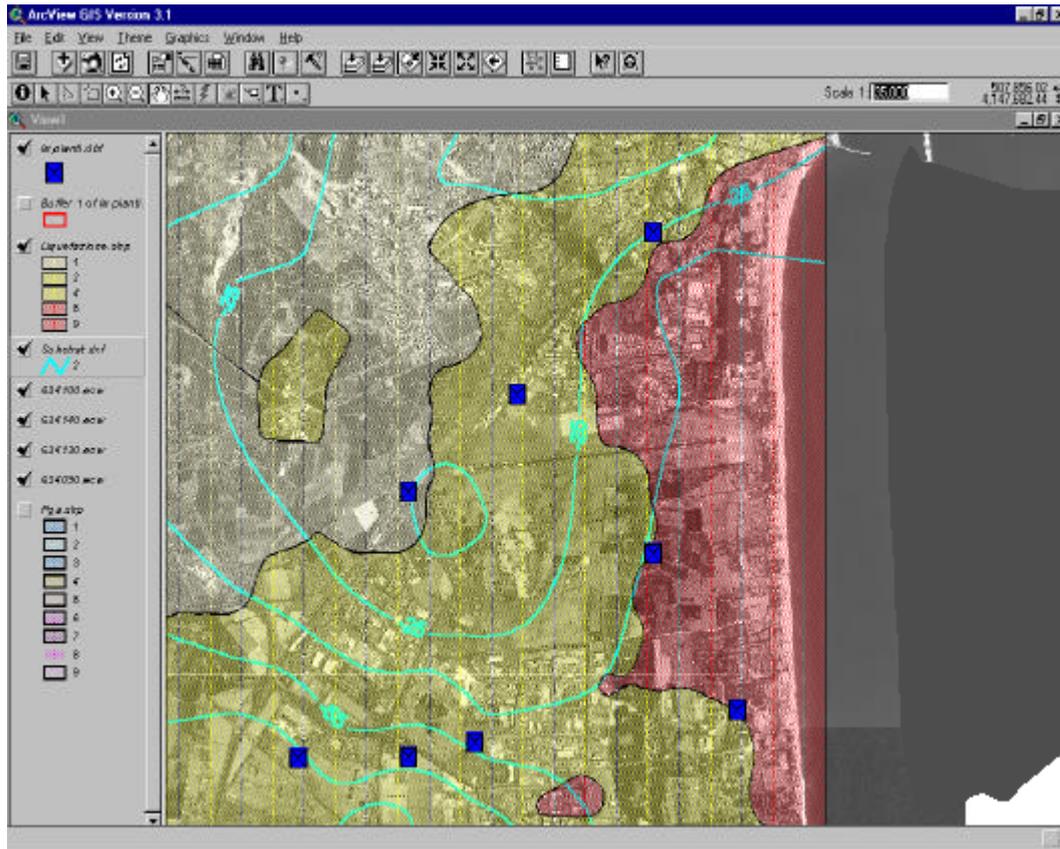


Figura 4. Impianti e mappa del rischio di liquefazione del suolo nel distretto industriale del capoluogo etneo.

La zona costiera presenta un rischio di liquefazione dei terreni indotti dallo scuotimento sismico molto elevato. Gli alti valori di g che tendono a ridursi verso l'entroterra, il completo grado di saturazione e l'elevato indice dei vuoti delle sabbie conferiscono infatti al settore litoraneo della piana una predisposizione molto elevata a tali fenomeni. In quest'area ricadono tre impianti industriali (costituiti da stabilimenti di GPL e di depositi atmosferici di sostanze infiammabili) tutti situati lungo il settore che costituisce rispettivamente il limite tra le aree ad alto e a medio rischio.

L'aprirsi di voragini e la repentina perdita delle capacità portanti dei terreni di fondazione può originare cedimenti differenziali nelle parti critiche degli impianti e provocare scenari incidentali indotti dalla rottura di serbatoi, tubazioni di trasferimento e flange di collegamento con conseguente possibile formazione di *bleeves* o di pozze incendiate (*pool-fires*). La mappa inoltre individua ampi settori potenzialmente vulnerabili al di fuori del distretto industriale - come la zona dove ha sede l'aeroporto, l'area di San Giuseppe La Rena, e, poco più a nord, l'area costiera di La Playa (dove per altro è in progetto la realizzazione di alcuni capannoni industriali) -, che per le loro caratteristiche geologiche sono soggette ad un alto rischio di liquefazione.

Nella parte centrale della Piana di Catania l'elaborazione su GIS mostra la presenza di un rischio medio di liquefazione dei terreni. In questo settore, che copre l'intera area dove è situato il distretto industriale, sono situati quattro impianti soggetti al D. Lgs. 334/99 e numerose altre attività produttive. Gli impianti soggetti alla normativa Seveso II sono costituiti da uno stabilimento chimico e da depositi di GPL e di sostanze infiammabili. Sebbene in quest'area il rischio di insorgenza di fenomeni di liquefazione sia minore, in particolari condizioni critiche, come il verificarsi di terremoti molto violenti, anche in quest'area si possono verificare scenari incidentali simili a quelli che possono coinvolgere gli stabilimenti più prossimi alla costa.

Infine, nella parte più occidentale dell'area in esame, dove è situato un impianto ad alto rischio, sono presenti ampi affioramenti di depositi fluviali costituiti da sabbie ricche in elementi conglomeratici. Tali materiali, per le loro caratteristiche geomeccaniche, escludono la possibilità che si possano originare fenomeni di liquefazione.

8. CONCLUSIONI

Il distretto industriale del capoluogo etneo è situato a circa 5 Km dalla periferia meridionale della città e si sviluppa su una superficie complessiva di 60 ettari, su un'area pianeggiante costituita da terreni sabbiosi e siltosi di ambiente lagunare e costiero. Nell'area sono presenti 8 impianti soggetti al D. Lgs. 334/99 (direttiva Seveso II) la cui attività produttiva si sviluppa nel deposito o nel trattamento di sostanze pericolose; tali impianti sono costituiti da depositi atmosferici di sostanze infiammabili, depositi interrati e fuori terra di GPL, stabilimenti chimici e depositi di fitofarmaci.

Nel settore in esame è stato condotto uno studio finalizzato alla valutazione del rischio sismico, con particolare riferimento a due fenomenologie indotte dal verificarsi di un evento tellurico, la valutazione dei valori delle accelerazioni di picco del suolo e i fenomeni di liquefazione indotti dallo scuotimento dei terreni al passaggio delle onde sismiche. I dati sono stati elaborati attraverso l'analisi di sismogrammi sintetici riferiti ad un terremoto di riferimento pari a $M = 7$ come quello che colpì l'area nel 1693 ed inseriti in un GIS dedicato. L'integrazione dei dati e la giustapposizione dei vari *layers* informativi permettono di affermare che il distretto industriale del capoluogo etneo presenta un alto rischio sismico, sia relativamente ai valori delle accelerazioni di picco del terreno (PGA) sia all'alta suscettibilità alla liquefazione dei terreni costieri della Piana di Catania.

Nell'area le PGA assumono valori massimi di 0.7 gal nella zona costiera, per poi ridursi verso l'entroterra, con valori fino a 0.3 gal. Il modello mostra inoltre un trend generale nord-est sud-ovest, influenzato all'assetto morfologico del substrato impedente, la cui profondità tende ad aumentare verso sud, nell'area del distretto industriale. Sulla totalità degli impianti, 6 attività produttive ricadono in un'area in cui è presumibile attendersi dei valori di PGA variabili tra 0.7 e 0.5 gal; tali impianti sono costituiti prevalentemente da depositi atmosferici di liquidi infiammabili, depositi di GPL e stabilimenti chimici. Nella zona centrale dell'area investigata ricadono infine due impianti che possono essere sottoposti ad accelerazioni del suolo comprese tra 0.4 e 0.45 gal.

Per quanto riguarda la liquefazione, i terreni della zona costiera presentano un alto rischio del fenomeno. Gli alti valori di g che tendono a ridursi verso l'entroterra, il completo grado di saturazione e l'elevato indice dei vuoti delle sabbie conferiscono infatti al settore litoraneo della piana una predisposizione molto elevata a tali fenomeni. In quest'area ricadono tre impianti industriali tutti situati lungo il settore che costituisce il limite tra le aree ad alto e a medio rischio.

BIBLIOGRAFIA

[1] Decreto Legislativo 17 agosto 1999, n. 334, *Attuazione della direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, N. 117/L 28 settembre 1999,.

[2] Longaretti G., Rocchi S., Ferrari L., Il magmatismo dell'avampese ibleo (Sicilia orientale) tra il Trias e il Quaternario: dati di sottosuolo della Piana di Catania dal Pleistocene al Miocene medio. *Mem. Soc. Geol. It.*, Vol. 47, pp. 537-555 (1991).

[3] Valensise G., Guidoboni E., *Verso nuove strategie di ricerca: zone sismogenetiche silenti o silenzio delle fonti?* in: *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a. C. al 1990*, ING-SGA, Ozzano Emilia, pp. 120-123 (1997).

[4] Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G., Gasperini P., *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a. C. al 1990*, ING-SGA, Ozzano Emilia (1997).

[5] Azzaro R., Barbano M.S., Moroni A., Mucciarelli M., Stucchi M., The seismic history of Catania. *Journal of Seismology*, Vol 3, pp. 235-252 (1999).

[6] Priolo E. 2-D spectral element simulation of destructive ground shaking in Catania (Italy). *Journal of Seismology*, Vol. 3, pp. 289-308 (1999).

[7] Crespellani T., Cascone E., Castelli F., Grasso S., Maugeri M., Vannucchi G., Liquefaction potential of saturated sands deposits in the urban area of Catania. in: *The Catania Project*, CNR, Roma, pp. 46-51 (1990).