VALUTAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO SISMICO IN AREE CARATTERIZZATE DALLA PRESENZA DI IMPIANTI INDUSTRIALI A RISCHIO DI INCIDENTE RILEVANTE.

Bellagamba, S., Ciucci, M., Grillo, A., Marino, A. e Rinaldini, A.
ISPESL/DIPIA., Via Urbana 167, 00184 Roma

SOMMARIO

L'obiettivo principale della ricerca è quello di individuare una metodologia, applicabile a qualsiasi sito industriale, che possa valutare i fenomeni di amplificazione sismica locale ai fini della prevenzione degli Incidenti Rilevanti e della limitazione degli effetti. Inizialmente si procede all'acquisizione, selezione ed analisi di tutti gli elementi, anche bibliografici, di conoscenza del territorio. Una volta acquisite tutte le informazioni geologico-tecniche dei depositi superficiali, viene costruito un modello matematico che fornisce lo spettro di amplificazione al suolo, ottenuto mediante codici di calcolo. La valutazione quantitativa della Risposta Sismica Locale fornisce, tramite specifiche indagini di caratterizzazione dell'area d'esame, lo spettro di risposta in superficie del sito. La definizione dei possibili fenomeni cosismici avviene secondo criteri congrui al fenomeno investigato. Il risultato conclusivo di queste indagini consiste sinteticamente in un elaborato cartografico di zonazione della Risposta Sismica Locale, in termini di periodo di vibrazione e di relativo fattore di amplificazione con particolare riguardo ai periodi propri di vibrazione delle strutture presenti. I risultati vanno ad implementare un Sistema Informativo Territoriale facilmente aggiornabile e di intuitiva consultazione, sviluppato per fornire uno strumento essenziale, pratico e veloce al fine della previsione e/o prevenzione del Rischio Naturale e del Rischio Industriale associato. Questa metodologia di gestione dell'informazione territoriale ha il pregio di permettere di integrare, in forma di strati informativi, in una banca dati di tipo geografico, informazioni anche molto differenti fra loro e quindi di costituire un efficace supporto decisionale alle autorità competenti.

1.0 INTRODUZIONE

Coesistono nel territorio italiano notevoli problematiche connesse ai rischi naturali come il rischio sismico, idrogeologico e vulcanico, che possono avere un impatto socio-economico notevole e dare origine a forti interazioni con gli insediamenti produttivi anche a Rischio di Incidente Rilevante.
Il terremoto, per la severità e la globalità del suo impatto, è senza dubbio l'evento di origine naturale più disastroso che caratterizzi il territorio nazionale. L'Italia è, infatti, un paese ad elevata sismicità, per la frequenza degli eventi che hanno interessato il suo territorio e per l'intensità che alcuni di essi hanno storicamente raggiunto, determinando un rilevante impatto sociale ed economico. Il rischio sismico è espresso quantitativamente, in funzione dei danni attesi a seguito di un terremoto, in termini di perdite di vite umane e di costo economico dovuto ai danni alle costruzioni ed al blocco delle attività produttive.
Nel territorio nazionale più del 50% degli impianti industriali di cui al D. Lgs. 334/99 è localizzato in aree sismicamente attive. Tale situazione emerge anche in seguito alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003).
Gli effetti di un medesimo terremoto su un impianto possono variare in funzione delle condizioni geologico-strutturali locali del sito su cui l'impianto è ubicato e delle frequenze di risonanza delle apparecchiature dell'impianto stesso. La microzonazione sismica delle aree industriali soggette a rischio di incidente rilevante costituisce quindi un elemento fondamentale per l'analisi della vulnerabilità d'area e per la valutazione del rischio stesso.
Risulta quindi utile individuare una metodologia efficace che possa permettere di valutare i possibili fenomeni di amplificazione sismica locale ai fini della previsione, della prevenzione e mitigazione degli incidenti rilevanti, nonché di una più attenta pianificazione del territorio.

2.0 COLLOCAZIONE DELLE ATTIVITA' INDUSTRIALI A RISCHIO DI INCIDENTE RILEVANTE IN ZONE SISMICAMENTE ATTIVE DEL TERRITORIO ITALIANO

Le attività industriali a rischio di incidente rilevante presenti in Italia sono attualmente soggette al D. Lgs. 334/99, che ha recepito la Direttiva 96/82/CE (Seveso II) modificata dalla Direttiva 2003/105/CE (Seveso III) recepita in Italia dal D.Lgs. 238/05 sul controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con

determinate sostanze pericolose. Se si confronta la localizzazione degli impianti per i quali esiste l'obbligo di notifica con la nuova classificazione sismica del territorio italiano, indicata nell'Ordinanza n° 3274 del 20/03/2003 e nell'Ordinanza n° 3519 del 28/04/2006 "*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*"della Presidenza del consiglio dei Ministri relativamente alle zone 1, 2 e 3 considerando che nella zona 4, visto il basso livello di sismicità, è lasciata facoltà alle singole regioni di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica, si ricavano alcuni dati interessanti, che fanno riflettere sulla rilevanza del problema.

La nuova classificazione sismica sopra citata ha suddiviso il territorio nazionale in 4 zone in base al valore di accelerazione orizzontale (a_g/g) di ancoraggio allo spettro di risposta elastico riportato nelle "Norme Tecniche":

- Zona 1: $a_g/g = 0,35$ – E'la zona più pericolosa dove possono verificarsi forti terremoti
- Zona 2: $a_g/g = 0,25$– Possono verificarsi terremoti abbastanza forti
- Zona 3: $a_g/g = 0,15$ – Possono verificarsi terremoti con scuotimenti modesti
- Zona 4: $a_g/g = 0,05$ – La possibilità di danni sismici sono basse

Secondo tale classificazione, 4613 comuni ricadono nelle prime tre zone sismiche, pari al 56,9% del totale. Di questi 708 sono in zona 1, 2345 in zona 2 e 1560 in zona 3.

Gli impianti industriali a rischio di incidente rilevante, soggetti pertanto all'art. 6 (notifica) del D. Lgs.334/99 e s.m., sono 1128, di cui 657 situati nelle prime tre zone sismiche.

Nell'ambito della citata normativa il gestore è tenuto ad adottare una politica di prevenzione degli incidenti rilevanti (art. 7) al fine di garantire un elevato livello di protezione dell'uomo e dell'ambiente, e per gli stabilimenti in cui sono presenti sostanze pericolose in quantità uguali o superiori a quelle indicate nell'allegato I, parti 1 e 2, colonna 3 è inoltre tenuto a redigere un rapporto di sicurezza (art. 8).

La Tabella 1 mette in evidenza il numero e la percentuale degli impianti nelle prime 3 zone sismiche.

La Tabella 2 mostra invece la distribuzione degli impianti industriali nelle varie regioni italiane.

Si osservi che alcune regioni, in particolare nell'Italia centrale e meridionale, hanno quasi la totalità di impianti nelle prime tre zone simiche (Abruzzo,Basilicata, Calabria, Campania, Lazio, Marche, Molise, Sicilia, Toscana, Umbria). Le regioni con il maggior numero di impianti in zona sismica sono l'Emilia Romagna (103), la Campania (79), la Sicilia (75), seguite da Lazio (74). e Toscana (57). La Lombardia, che è la regione con il maggior numero di impianti industriali a rischio di incidente rilevante (276), ne ha 59 nelle prime 3 zone sismiche .

Tabella 1

	Zona 1		**Zona 2**		**Zona 3**	
	art. 6	**art. 8**	**art. 6**	**art. 8**	**art. 6**	**art. 8**
Numero impianti	21	16	216	117	140	147
Percentuale	5,6%	5,7%	57,3%	41,8%	37,1%	52,5%

Tabella 2

REGIONE	N° Impianti tot.		N° Impianti nelle zone 1,2e3		N° Impianti in Zona 1		N° Impianti in Zona 2		N° Impianti in Zona 3		% Impianti nelle Zone 1,2e3	
	Art. 6	**Art. 8**	**Art. 6**	**Art. 8**	**Art. 6**	**Art. 8**	**Art. 6**	**Art. 8**	**Art. 6**	**Art. 8**	**Art. 6**	**Art. 8**
ABRUZZO	18	10	18	10	1	--	7	7	10	3	100%	100%
BASILICATA	4	4	4	4	2	2	1	2	1	--	100%	100%
CALABRIA	12	6	12	6	8	5	4	1	--	--	100%	100%
CAMPANIA	54	25	54	25	3	3	47	22	4	22	100%	100%
EMILIA-ROMAGNA	55	48	55	48	--	--	19	5	36	43	100%	100%
FRIULI-VEN.GIULIA	13	13	10	7	3	3	6	1	1	3	77%	54%
LAZIO	43	35	43	31	--	--	30	14	13	17	100%	89%
LIGURIA	11	18	3	6	--	--	2	2	3	4	27%	33%
LOMBARDIA	130	146	30	29	--	--	2	1	28	28	23%	20%
MARCHE	10	7	10	7	--	--	10	7	--	--	100%	100%
MOLISE	3	4	3	4	1	--	2	1	--	3	100%	100%
PIEMONTE	52	44	4	4	--	--	1	1	3	3	8%	9%
PUGLIA	28	18	20	13	--	--	7	2	13	11	71%	72%
SARDEGNA	20	25	0	0	--	--	--	--	--	--	0%	0%
SICILIA	48	29	47	28	--	--	47	28	--	--	98%	97%
TOSCANA	31	28	29	24	--	--	24	19	5	5	94%	86%
TRENTINO - ALTO ADIGE	11	4	1	2	--	--	--	--	1	2	9%	50%
UMBRIA	11	9	11	9	3	3	6	3	2	3	100%	100%
VAL D'AOSTA	3	1	0	0	--	--	--	--	--	--	0%	0%
VENETO	45	52	23	23	--	--	3	1	20	22	51%	44%
ITALIA	**602**	**526**	**377**	**280**	**21**	**16**	**216**	**117**	**140**	**147**	**63%**	**53%**

3.0 AREA DI STUDIO

L'area di studio è rappresentata dal Distretto Industriale di Priolo Gargallo-Augusta-Melilli, sia per gli assetti locali di natura geomorfologica, litostratigrafica e sismotettonica, sia per la presenza numerosa di industrie di varia tipologia e grandezza classificate a rischio di incidente rilevante.
L'elemento determinante nell'identificazione dell'area è stato la considerazione dell'elevato grado di pericolosità sismica esistente ed i possibili effetti cosismici che potrebbero interessare l'intera zona, quali maremoti e frane.

3.1 Assetto geologico-strutturale

La Sicilia orientale rappresenta la porzione più meridionale dell'Arco Calabro, zona di transizione tra l'Appennino meridionale e l'Appennino Siciliano-Maghrebide, ed è un'area tettonicamente attiva interessata da frequenti sistemi di fagli normali che si estendono lungo il bordo tirrenico dell'Arco, prolungandosi, attraverso lo Stretto di Messina, lungo la costa ionica della Sicilia fino a raggiungere gli Iblei orientali (Tortrici *et al.*, 1986; 1995; Westaway, 1992; 1993; Monaco & Tortrici, 1995).
Il Distretto Industriale di Priolo Gargallo-Augusta-Melilli, in particolare, si sviluppa lungo il Golfo di Augusta, tra le città di Augusta a nord, Siracusa a sud, Melilli e Priolo ad ovest, ricadendo all'interno del margine nord-orientale dell'avampaese ibleo che, scarsamente deformato ed interessato soprattutto da vari sistemi di faglie riferibili in prevalenza a meccanismi normali, costituisce l'attuale margine della placca africana, separata dall'edificio a falde della Catena Appenninico-Maghrebide mediante l'avanfossa di Gela-Catania (Lentini F. & Vezzani L., 1978).

Dato il ruolo di avampaese giocato dall'area iblea ed espresso da modeste deformazioni a carattere plicativo e da intensi fenomeni di "faulting" che si concretizzano in generali sollevamenti ed abbassamenti, gli elementi morfostrutturali più significativi che caratterizzano il territorio sono, a nord, l'alto strutturale (horst) di M.te Tauro, ad andamento NW-SE, in cui affiorano dei sedimenti carbonatici con intrusioni laviche, separato da una faglia ad alto angolo, non più attiva, dalle zone di bacino (graben di Augusta) ove si colloca prevalentemente l'abitato di Augusta e, a sud, l'alto strutturale (horst) di Siracusa ad andamento anch'esso NW-SE, in cui affiorano gli stessi terreni di cui sopra, ed il relativo basso strutturale (graben di Floridia) riempito dai depositi del fiume Anapo. I grabens sono riempiti, quindi, da sedimenti pelitici e sabbioso-calcarenitici d'età quaternaria su cui si sovrappongono diverse unità litologiche terrigene.
Altri elementi morfologici predominanti sono una serie di superfici terrazzate di vario ordine riferibili al ciclo medio-pleistocenico, che sono bel visibili soprattutto nelle zone limitrofe Siracusa.

3.2 Assetto stratigrafico e caratterizzazione geotecnica

Dai dati stratigrafici derivanti da sondaggi geognostici e geotecnici, dai dati provenienti dai sondaggi meccanici presenti nei piani di caratterizzazione degli impianti e dai dati di letteratura, si è potuto ricavare uno schema stratigrafico del sottosuolo caratterizzato da otto distinte unità litotecniche principali (fig.1).
Il termine litologico più profondo è rappresentato dalle ***Vulcaniti Cretacee*** (complesso vulcanico) con spessore di circa 500 metri, costituite da vulcanoclastiti a granulometria fine e da lave basaltiche compatte ed attraversate da filoni basaltici di spessore da decimetrico a metrico. A causa del diffuso stato di argillificazione, la formazione presenta una Vs bassa ed uguale a 350 m/sec.
Al di sopra si ritrovano le **S*equenze Carbonatiche*** (complesso carbonatico) che caratterizzano l'altopiano ibleo. Si tratta di calcareniti compatte ben stratificate, calcari algali compatti, brecce calcaree e calciruditi ben cementate con spessori variabili da qualche metro a diverse centinaia di metri (500-600 m). Vs = 950-1400 m/sec.
Seguono, al top sia delle vulcaniti cretacee che dei sedimenti carbonatici, le ***Sabbie giallastre e sabbie argillose*** (complesso sabbioso calcarenitico) a stratificazione incrociata, scarsamente cementate e con granulometria medio-fine. Alla base del corpo sabbioso si ritrovano, a luoghi, livelli di conglomerati eterometrici spessi fino a qualche metro. Questo litotipo è presente prevalentemente in sottosuolo nella zona di bacino ed è caratterizzato da spessori di circa 20 m. Vs = 400 m/sec.
Al di sopra sono presenti le ***Argille grigio azzurre*** (complesso argilloso) con spessore fino a 300 metri nei grabens quaternari di Scordia-Lentini, di Augusta e di Floridia che rappresentano l'immediato substrato geologico della città di Augusta su cui giacciono tutte le unità litologiche più superficiali. Tale successione è rappresentata da una monotona sequenza di argille ed argille marnose compatte (sovraconsolidate) di colore grigio azzurro con, a luoghi, sottili livelli centimetrici di sabbie giallastre a granulometria fine. Vs = 600 m/sec. Nella parte centrale dell'area di bacino, in successione si ritrovano una serie di corpi tabulari di ***Calcareniti*** (Banchina,complesso sabbioso calcarenitico) che, raggiungendo spessori massimi di circa 8 metri, si estendono con giaciture suborizzontali. Litologicamente questi corpi, su cui è costruito il centro storico della città di Augusta, sono costituiti prevalentemente da calcareniti poco consolidate, di colore giallastro a granulometria da media a grossolana. Vs = 360 m/sec.
In alcune zone, al disopra delle argille grigio azzurre, si ritrova, invece, un orizzonte spesso fino ad un massimo di 20 metri costituito da prevalenti ***Limi e limi sabbiosi*** (complesso clastico di deposizione continentale) contenenti intercalazioni metriche di sabbie giallastre a granulometria medio fine e di calcareniti scarsamente cementate d'età olocenica. Vs = 250 m/sec.
Lateralmente tali limi passano ad un orizzonte costituito da ***Brecce calcarenitiche*** (complesso clastico di deposizione continentale) scarsamente consolidate con intercalazioni di livelli decimetrici di sabbie a granulometria fine. Vs = 150 m/sec
Alla base della scarpata del M.te Tauro e lungo i bordi del centro storico di Augusta si ritrovano prevalentemente dei ***Corpi detritici***. Si tratta, nel caso di M.te Tauro, di brecce calcaree non consolidate e, ad Augusta, di blocchi calcarenitici e materiale antropico scarsamente compattati. Vs = 100 m/sec.
Infine nelle zone di costa, dove si insediano molti stabilimenti industriali, sono presenti i ***Depositi alluvionali e di spiaggia*** (complesso clastico di deposizione continentale) costituiti da sabbie sciolte che affiorano in limitato spessore. Vs = 300 m/sec.
Si è proceduto ad effettuare una classificazione, applicando opportune precauzioni, dei terreni presenti nell'area oggetto degli studi, in quattro diverse categorie di sottosuolo per il proprio comportamento

geotecnico e per la velocità equivalente (Vs_{30}) di propagazione delle onde di taglio S nei primi 30 metri di profondità, cercando di attenerci alle categorie di sottosuolo presenti nelle tabelle delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (Tab. 3.2.II e 3.2.III, parag. 3.2.2; NTC, 2008): **A** (Suolo rigido); **B** (suolo semirigido); **C** (suolo medio) e **D** (suolo soffice) (tabelle 3; 4; 5 & 6).

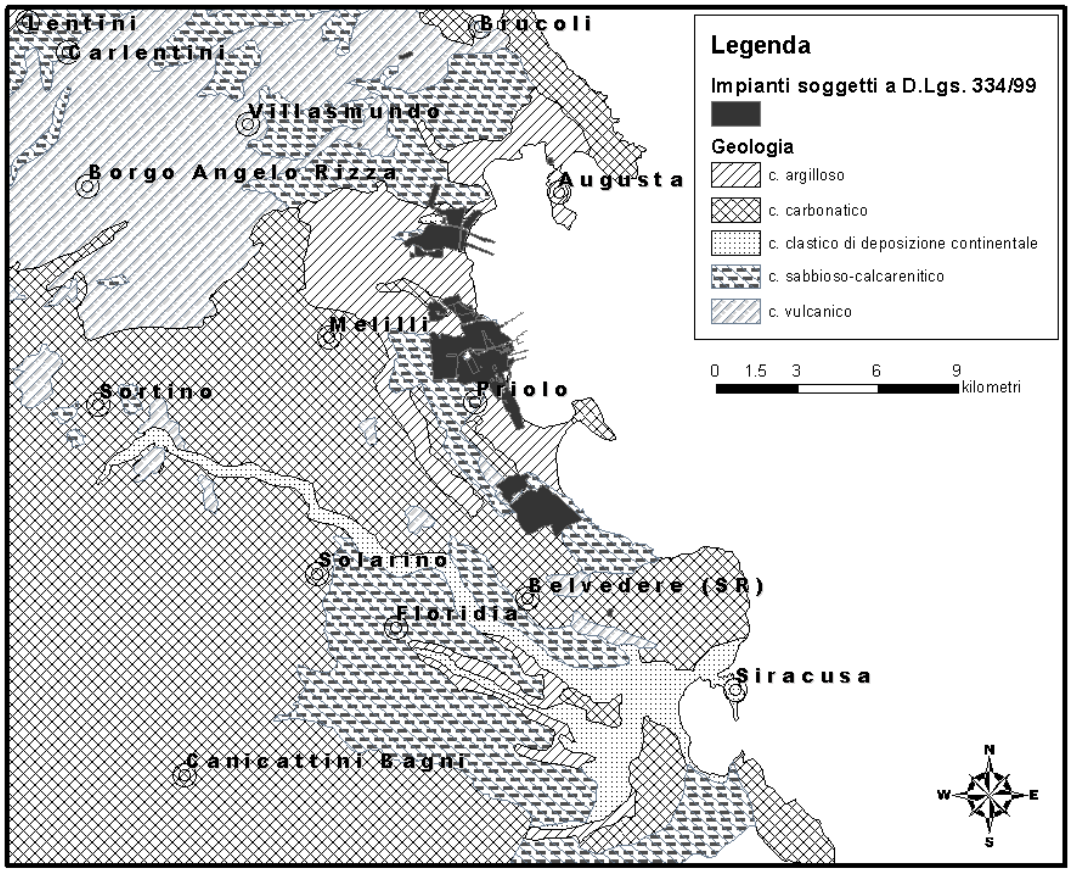

Figura 1 – Carta Geologica con relativa legenda.

Tabella 3

A (Suolo rigido)	Roccia ed altre formazioni geologiche caratterizzate da una velocità delle onde di taglio nei primi trenta metri di terreno Vs_{30} > 800 m/s
Descrizione	***Sequenze carbonatiche*** che vanno a formare il *bedrock* sismico del Distretto Industriale; a luoghi depositi rigidi di alcune decine di metri di spessore costituiti da sabbie molto dense, ghiaie o ***Argille grigio azzurre*** sovraconsolidate molto rigide. Tali strati sono caratterizzati da un progressivo miglioramento delle proprietà dinamiche con la profondità.

Tabella 4

B (Suolo semirigido)	Terreni e Formazioni geologiche di media rigidezza, caratterizzate da una velocità delle onde di taglio nei primi trenta metri di terreno $360<Vs_{30}<800$ m/s
Descrizione	Formazioni rocciose fessurate o molto degradate: ***Vulcaniti Cretacee***; ***Sabbie giallastre e sabbie argillose*** ovvero stratificazioni di terreni incoerenti mediamente addensati, ghiaie o ***Argille grigio azzurre*** rigide leggermente sovraconsolidate; ***Calcareniti*** (Banchina);

Tabella n. 5

C (Suolo medio)	Terreni e formazioni geologiche a bassa rigidezza caratterizzate da una velocità delle onde di taglio nei primi trenta metri di terreno $180<Vs_{30}<360$ m/s
Descrizione	Depositi di terreni incoerenti sciolti come i ***Depositi alluvionali e di spiaggia***; depositi con prevalente presenza di suoli argillosi normal consolidati o limosi, soffici o di media rigidezza; ***Limi e limi sabbiosi.***

Tabella n. 6

D (Suolo soffice)	Terreni e formazioni geologiche caratterizzate da una velocità delle onde di taglio nei primi trenta metri di terreno $Vs_{30}<180$ m/s
Descrizione	Depositi di terreni incoerenti sciolti scarsamente addensati come i ***Corpi detritici*** e le ***Brecce calcarenitiche.***

3.3 Contesto sismotettonico

Il complesso sistema di faglie estensionali (fig. 2), che caratterizza la Sicilia orientale (Siculo-Calabrian rift zone; Monaco *et al.*, 1997), si estende per una lunghezza complessiva di circa 370 km ed è costituito da segmenti caratterizzati da lunghezze variabili da 10 a 50 km. Tali sistemi plicativi mostrano in generale un andamento en echelon con sovrapposizioni di tipo destro e sono rappresentati da due faglie maggiori che, immergendo verso est, interessano l'intera crosta ionica provocando lo sviluppo di una serie di bacini sedimentari riempiti da sedimenti clastici sinrift del Quaternario medio-superiore (Hirn *et al*., 1997; Bianca *et al*., 1999). Le faglie più importanti di questo settore sono: la faglia Occidentale, con direzione NNO-SSE, la quale si estende parallelamente alla linea di costa per una lunghezza complessiva di 45 km ed interessa il fondo marino creando scarpate rettilinee caratterizzate da altezze comprese tra 80 e 240 m (Bianca *et al*., 1999); la faglia di Avola e le faglie di Rosolini-Pozzallo, con direzione NE-SO, entrambe presenti nel settore sud orientale della Sicilia.
Gli eventi a più alta intensità che si sono verificati nell'intera Italia meridionale, quali quelli del 1169 e del 1693 con intensità MCS dell'XI grado (M≈7) sono da attribuirsi ai sistemi di faglie suddette; in particolare le due scosse del 9 e dell'11 gennaio 1693, che devastarono quasi completamente l'intera Sicilia sud-orientale, sono state attribuite a movimenti avvenuti lungo la faglia di Avola (scossa del 9 gennaio) e lungo la faglia Occidentale (scossa dell'11 gennaio) localizzata nell'offshore ionico (Bianca *et al*., 1999).
Data la presenza dei sistemi di faglie normali o transtensive quiescenti e attive, la zona presenta un'elevata pericolosità sismica con alta probabilità di effetti cosismici naturali quali frane, dissesti idrogeologici, maremoti ed antropici connessi alla presenza di aree industriali con impianti soggetti al D.Lgs. 334/99.
Inoltre, dato l'assetto geologico-stratigrafico dell'area in cui è ubicato il Distretto Industriale, caratterizzato dalla presenza di un "*bedrock*" ad elevata rigidità e da una sovrastante sequenza litostratigrafica sedimentaria, è probabile che vi siano eventuali modifiche, in termini di distribuzione in frequenza ed ampiezza, che l'energia sismica registrata in superficie può subire. Inoltre è da considerare l'effetto sulle amplificazioni locali dovuto alla presenza di numerose faglie, attive e non, che possono comportarsi come guide d'onda.

4.0 METODOLOGIA

Vista la situazione geologico-strutturale dell'area in cui è ubicato il distretto industriale, dato l'elevato grado di pericolosità sismica ed i possibili effetti cosismici del territorio, si vuole individuare una metodologia in grado di valutare i possibili fenomeni di amplificazione sismica locale ai fini della previsione, della prevenzione e mitigazione di incidenti rilevanti connessi al verificarsi di un evento sismico.
La metodologia di analisi per il calcolo della pericolosità sismica consta di due differenti approcci:

- approccio strumentale: basato sull'analisi e sull'elaborazione di dati di rumore sismico ambientale eseguite in sito, secondo la tecnica di Nakamura o HVRS (metodo dei rapporti spettrali), con l'ausilio di una stazione di acquisizione tri-direzionale portatile (TROMINO), seguendo il protocollo GRILLA fornito dalla ditta MICROMED;

- approccio numerico: basato sulla costruzione di un modello geologico-tecnico del sito, attraverso la caratterizzazione del sottosuolo, e sulla sua trasposizione in un modello fisico-matematico monodimensionale utilizzato come input per il software PRO-SHAKE (analisi lineare equivalente).

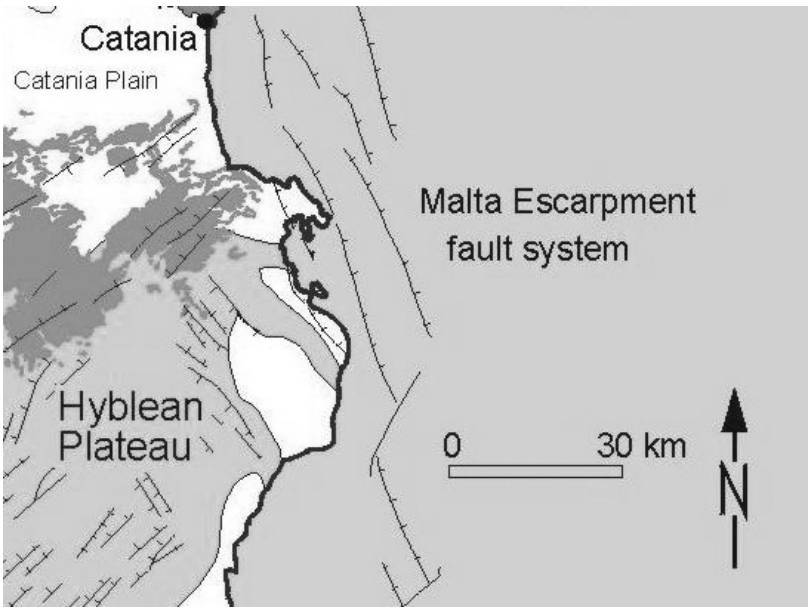

Figura 2 – Schema strutturale

Quest'ultimo approccio richiede una complessa analisi dei dati che serviranno per il calcolo della la curva di pericolosità sismica per il sito studiato e cioè la funzione che rappresenta la frequenza annua (o probabilità annua) di superamento di certi livelli di scuotimento (espresso come PGA, PGV, PGD, SA, ecc) ottenuta per tutte le possibili magnitudo e per tutte le distanze ed introducendo il numero annuo medio di occorrenze di sismi di magnitudo maggiore di una soglia fissata. Si utilizza a tal riguardo lo spettro di risposta come parametro di scuotimento.

4.1 Misure di rumore sismico ambientale

Il moto sismico in un determinato sito è influenzato da tre parametri fondamentali: il meccanismo alla sorgente, la propagazione e la risposta locale. I primi due fattori dipendono dalle caratteristiche dell'evento sismico e variano al variare delle caratteristiche della sorgente (magnitudo e tipo di rottura della faglia) e della distanza sorgente-sito. La risposta sismica locale invece è il risultato di interazioni molto complesse tra le onde sismiche e le condizioni locali, cioè l'insieme delle caratteristiche stratigrafiche e morfologiche dei terreni ed ammassi rocciosi e delle loro proprietà fisiche e meccaniche.
Lungo il cammino verso la superficie le onde sismiche modificano la loro frequenza e la loro ampiezza quando passano da un *bedrock* ad alta velocità a un terreno soffice costituito da una successione di strati pian-paralleli.
Questo fenomeno origina effetti di sito nel terreno che possono essere analizzati attraverso il rapporto tra lo spettro della Trasformata di Fourier in superficie e quella, nella stessa componente nel *bedrock*.
La determinazione della Risposta Sismica Locale richiede la definizione delle modalità di propagazione (velocità e attenuazione) delle onde S nel sottosuolo, fino ad una profondità che deve essere dell'ordine di grandezza della lunghezza d'onda associata alle frequenze di vibrazione potenzialmente in grado di danneggiare gli edifici e le infrastrutture presenti (p. es., Kramer, 1996; Lanzi e Silvestri, 1999). Questa informazione può essere ottenuta attraverso metodi passivi di indagine in situ basati sull'analisi del rumore sismico ambientale.
Le misure saranno effettuale con stazione singola di acquisizione tri-direzionale portatile (TROMINO), seguendo il protocollo GRILLA fornito dalla ditta MICROMED.
Questa tecnica è caratterizzata da una maggiore efficacia proprio nelle situazioni in cui le procedure tradizionali presentano maggiori difficoltà per l'elevato grado di rumore riscontrabile per esempio nei pressi di centri urbani, industrie ecc.

I metodi di sismica passiva sono essenzialmente basati sullo studio del campo d'onde associato al rumore sismico ambientale. Questo rumore è presente in ogni parte della superficie della terra per effettori cause naturali ed antropiche ed è costituito da fasi sismiche che spesso hanno attraversato porzioni significative della crosta.
Le principali limitazioni sono legate alla presenza di sorgenti incontrollate che rendono l'interpretazione e l'analisi del dato più complessa rispetto a quanto avviene nel caso delle tecniche attive.
Il campo di rumore sismico ambientale è costituito da molte e differenti fasi sismiche. Sebbene le onde di volume siano largamente presenti, le onde superficiali giocano sempre un ruolo importante. Infatti, dal punto di vista sperimentale, quella legata alle onde superficiali è la componente che, almeno sul piano statistico, mostra una maggiore coerenza e persistenza statistica. Per questa caratteristica la componente di onde superficiali è quella che sperimentalmente risulta identificabile più facilmente: di fatto la maggior parte dei tentativi finalizzati alla modellazione del rumore ai fini di prospezione geofisica sono basati sullo studio della sola componente di onde superficiali.
Il metodo dei rapporti spettrali (H/V o HVRS o anche "metodo di Nakamura") nasce da studi condotti in Giappone attorno al 1950 ed è basato sullo studio dei rapporti di ampiezza che nelle diverse frequenze di vibrazione esistono fra il rumore sismico misurato sul piano orizzontale (H) e quello misurato lungo la componente verticale (V). Tale rapporto H/V consente di eliminare il ruolo della sorgente (ipoteticamente presente nella stessa misura nelle componenti verticali e orizzontali) isolando gli effetti delle modalità di propagazione delle onde sismiche e mostra dei massimi in corrispondenza delle frequenze di risonanza delle onde S generate da forti variazioni di velocità delle onde S presenti nel sottosuolo. Dato che la frequenza di risonanza delle coperture sedimentarie gioca un ruolo importante nella microzonazione sismica (Kramer, 1996) lo studio dell'andamento della curva H/V può fornire importanti informazioni su alcune caratteristiche del sottosuolo e del suo profilo di velocità.
Le indagini in situ, con la stazione di acquisizione Tromino, saranno effettuate su una maglia di misura avente una distanza tra i nodi di 500 m, nell'intorno degli agglomerati industriali, e, in caso di variazioni laterali dei risultati, si ridurrà il "point spacing" sotto i 250 m.
I risultati andranno a tarare il modello matematico del terreno che si utilizzerà per la simulazione numerica monodimensionale.

4.2 Simulazione numerica monodimensionale

Un impulso sismico che si applichi in corrispondenza di un substrato veloce Vs>800m/s *bedrock*) di una successione stratigrafica costituita da strati piano-paralleli subisce modifiche sia in ampiezza d'onda che in contenuto in frequenze attraversando i terreni sovrastanti il substrato fino a giungere in superficie. Quantificare gli effetti amplificativi del moto sismico relativo alla colonna di terreni facente riferimento al sistema *bedrock*-coperture significa rapportare la risposta sismica al suolo (*output*) espressa in termini di ampiezza (*groundmotion*) e/o di frequenza (*Fast Fourier Transform* - FFT) dello scuotimento con quella al *bedrock* (*input*).
La simulazione numerica 1D ha lo scopo di analizzare il comportamento del terreno sotto condizioni di scuotimento sismico e valutare tali effetti amplificativi. L'impiego di modelli di calcolo fornisce quindi una simulazione del processo di propagazione delle onde sismiche attraverso il substrato ed i depositi superficiali. L'impiego di modelli fisico-matematici permette l'analisi della propagazione delle onde sismiche nei terreni dalla sottostante formazione rocciosa di base fino alla superficie ed ha il vantaggio di considerare il vero fenomeno fisico e quindi di aumentare il grado di accuratezza nella previsione dell'amplificazione (T. Sanò & A. Pugliese, 2007).
Le analisi numeriche forniscono l'andamento nel tempo delle deformazioni e delle tensioni, delle accelerazioni e dei corrispondenti spettri di risposta sia in superficie sia in profondità.
Essi si sviluppano attraverso tre fasi:

1. Definizione del modello geometrico e geotecnico del sottosuolo;
2. Definizione delle azioni sismiche di riferimento;
3. scelta del codice di calcolo e del tipo di risultato voluto

Si è scelto di utilizzare il codice di calcolo 1D PRO-SHAKE, che adotta l'analisi lineare equivalente, in quanto si presta bene per le reali situazioni dell'area del Distretto Industriale ovvero condizioni piano-parallele a più strati. Per tali situazioni è lecito considerare la sola dimensione della profondità, trascurando le altre due dimensioni.

Le principali cause dell'amplificazione del moto sismico sono, infatti, il contrasto di impedenza fra i vari strati del terreno, tra essi e il basamento roccioso e il fenomeno della risonanza, determinata dalla prossimità tra le frequenze del moto al substrato e quelle naturali di vibrazione del deposito.
PRO-SHAKE lavora nel campo delle tensioni totali; infatti il modello fisico utilizzato è quello a strati continui ed omogenei a comportamento viscoelastico linearizzato di Kelvin-Voigt e consiste di n strati piani e paralleli di estensione orizzontale infinita su un semispazio affiorante corrispondente al *bedrock* su cui si applica il moto di input; ogni strato è considerato omogeneo ed isotropo ed è caratterizzato dallo spessore h, dalla densità ρ, dal modulo di elasticità a taglio G e dal rapporto di smorzamento β. Il moto di input è costituito da onde S propagatesi in direzione perpendicolare alla superficie libera (Condizione di far field).
Da una stima dei dati contenuti nel Catalogo dei Terremoti, opportunamente integrati con dati di bibliografia, sono stati stimati i tempi di ritorno medi T_m, la magnitudo M e la distanza sorgente-sito Df dei terremoti di scenario che verranno presi in considerazione come input sismico nell'analisi numerica:

- Terremoto di scenario Disastroso (T_m=500 anni); M=7.4 e Df= 12 km (Scarpata Ibleo-Maltese)
- Terremoto di scenario Forte (T_m=120-150 anni); M=6.4 e Df= 12 km (Scarpata Ibleo-Maltese)

Infine gli spettri di risposta che si otterranno, applicando differenti leggi di decadimento G/G_0 e differenti fattori di smorzamento, verranno messe a confronto con gli spettri di progetto nella Normativa Vigente sulle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008.

5.0 STRUTTURA DEL S.I.T.

La stima del rischio sismico coinvolge competenze differenziate,. La necessità di trovare un sistema di sintesi dei diversi apporti, per fornire e visualizzare sul territorio i livelli e le probabilità di rischio, hanno portato alla strutturazione del S.I.T. (Sistema Informativo Territoriale) dell'area industriale di Priolo-Augusta-Melilli. Esso ha consentito l'integrazione dei dati di diversa natura provenienti da varie fonti ed la rappresentazione efficace della multidisciplinarietà dell'approccio metodologico che è posto alla base della ricerca.
Con il S.I.T. si sono potuti integrare dati alfanumerici e geometrici con dati territoriali dell'area. Si è potuto associare, in tal modo, serie statistiche, grafici, immagini, set di dati a specifiche entità territoriali, migliorandone la visualizzazione e la comunicazione e favorendone l'investigazione analitica e/o comparativa.
I dati utilizzati sono in parte derivati dalle attività di ricerca di enti istituzionali (es. INGV, PC ecc.), in parte derivati dall'attività di enti locali pubblici e privati ed in parte acquisiti dall'ente stesso.
L'eterogeneità dei dati, nonché la diversa provenienza hanno reso necessaria una loro standardizzazione (sistema di riferimento, compatibilità di archivi); essi sono stati georeferenziati secondo il sistema di coordinate Universal Transverse Mercator (UTM); Datum = European Datum 1950 e inseriti all'interno di un Geodatabase (GBD).
Nel Geodatabase ogni unità dello spazio (punto, linea, poligono, cella) è lagato ad un univoco *record* del *database*: questo *record* esprime una qualità dell'oggetto, attraverso i valori degli attributi o campi associati.
La progettazione e la costruzione del GDB ha seguito uno sviluppo suddiviso in 5 steps, in accordo con quanto espresso da M. Zeiler (1999), ovvero:

1. Definizione della necessità dei diversi utenti finali del geodatabase, integrando tutti i dati in un'unica base organica e raggruppandoli in gruppi logici;
2. Definizione e descrizione degli oggetti e delle loro relazioni, raggruppando le varie entità spaziali/geografiche per attributi comuni, trascrivendo le relazioni e gli oggetti classificati in diagrammi;
3. Selezione della rappresentazione geografica più opportuna attraverso punti, linee, poligoni, celle e superfici (formati vettoriali e raster);
4. Trasferimento dal modello concettuale al geodatabase; infatti un modello concettuale è un'astrazione degli oggetti che si devono rappresentare in una particolare applicazione. Questa astrazione è convertita negli elementi del geodatabase (tab. 5 e fig. 3);
5. Organizzazione della struttura del geodatabase (fig. 4) raggruppando in specifici datasets geografici tematici tutte le categorie degli oggetti in esso presenti. Questo tipo di struttura

nell'implementazione del GDB consente un notevole numero di analisi ed elaborazioni e ben si presta alla raccolta e all'aggiornamento dei dati.

Tabella n. 7

Elementi concettuali	Elementi del Geodatabase
Oggetti	Linee
Attributi	Colonne, campi
Classi	tabelle

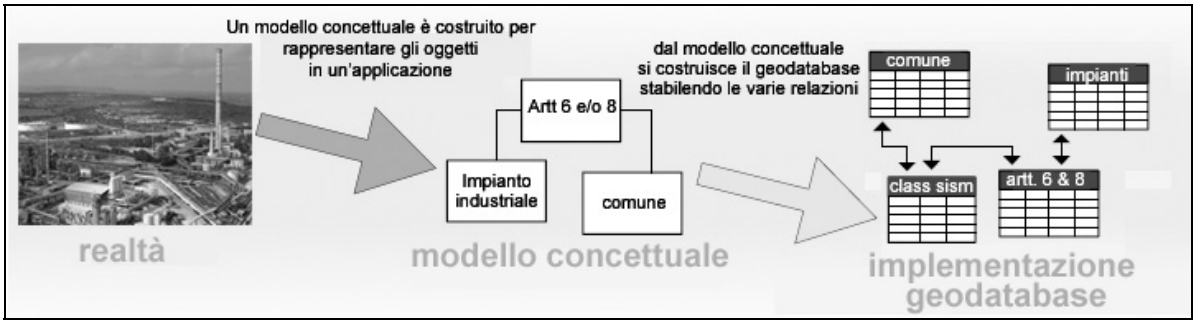

Figura 3 – Schema del trasferimento dei dati reali prima al modello concettuale e poi al geodatabase (Schema ripreso da M. Zeiler, 1999).

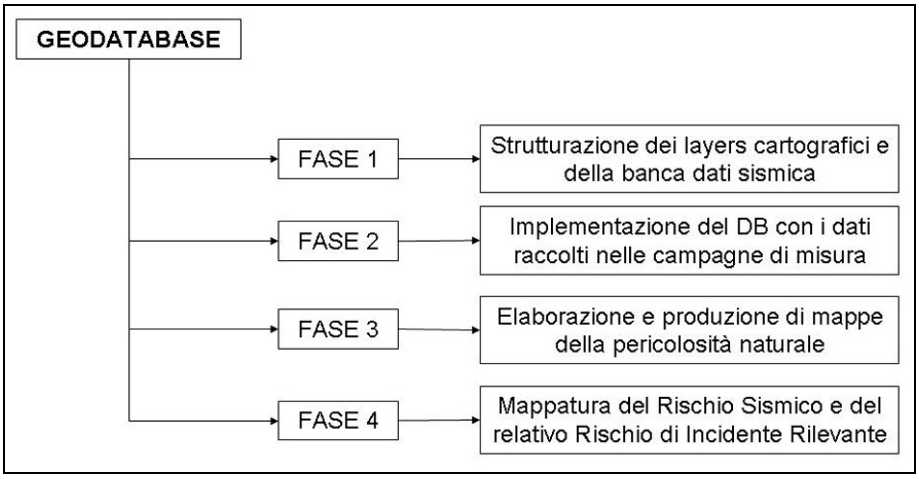

Figura 4 – Schema della costruzione del Geodatabase.

Successivamente sono stati creati gli strati informativi e sono stati aggregati in funzione dei diversi utilizzi.
Il software utilizzato per l'elaborazione è ArcGis® 9.2 della ESRI con le estensioni 3D Analyst, Spatial Analyst e Geostatical Analyst; mentre per il trattamento dei dati alfanumerici è stato utilizzato Microsoft Office Access 2003 per la sua completa integrazione con il GDB.
Le informazioni utilizzate per la strutturazione del GDB riguardano essenzialmente tre stadi diversi; il primo stadio (fig. 5) ha visto l'inserimento nel S.I.T. dei i seguenti dati generali:

- Base cartografica ortofotogrammetrica.
- Limiti amministrativi (regionali, provinciali e comunali).
- Reticolo idrografico e grafo stradale e ferroviario.
- Cartografia geologica a grande scala.

Inoltre sono stati inseriti i seguenti dati specifici:

- I dati sulle sorgenti sismotettoniche nell'area in esame e nelle zone limitrofe.
- I dati della zonazione sismica (livello di pericolosità).
- I dati alfanumerici relativi agli impianti artt. 6 & 8 D.Lgs. 334/99 e s.m..

In particolare sono stati acquisiti, in formato vettoriale, i seguenti tematismi:

- *Autostrade*: banca dati proveniente da fonte Teleatlas.
- *Strade*: banca dati proveniente da fonte Teleatlas.
- *Ferrovie*: banca dati proveniente da fonte Teleatlas.
- *Comuni*: banca dati proveniente dall'ISTAT. Contiene, per l'intero territorio nazionale, i limiti comunali, provinciali e regionali riferiti al 1991.
- *Località abitate*: banca dati proveniente dall'ISTAT. Contiene i centroidi delle località abitate dell'intero territorio nazionale, suddivisi per provincia.
- *Reticolo idrografico*: banca dati proveniente da fonte Teleatlas.
- *Dati DISS*: banca dati sulle sorgenti sismotettoniche nell'area in esame e nelle zone limitrofe di provenienza INGV.
- *Dati della zonazione sismica (livello di pericolosità:* Banca dati dei comuni con la relativa classificazione sismica indicati nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274/03, aggiornata con le comunicazioni delle regioni. Fonte sito della Protezione Civile.
- *Dati relativi agli impianti artt. 6 & 8*: dati alfanumerici relativi agli impianti artt. 6 & 8 di provenienza del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio del Mare, Direzione Generale per la salvaguardia ambientale, Divisione VI – Rischio Industriale – Prevenzione e controllo integrati dell'Inquinamento.

I dati acquisiti invece in formato raster sono:

- *Base ortofotogrammetrica:* Ortofoto AGEA con maglia 1*1 m.
- *Immagini Satellitari*: Immagini Satellitari IKONOS con risoluzione 1*1 m (pancromatico).
- *Topografia*: modello digitale del terreno (DEM) con risoluzione 40*40 m proveniente dalla banca dati del Servizio Geologico Nazionale.
- *Geologia*: Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 redatta dall'Università di Catania.

Il secondo stadio (fig. 6) consisterà nell'implementare il S.I.T. con i risultati che si otterranno sia dalla campagna di indagini del rumore sismico ambientale, sia dalla simulazioni monodimensionale:

- Zonazione sismogenetica utilizzata per il calcolo della pericolosità sismica;
- Elaborato finale della Microzonazione Sismica nel Distretto Industriale e nelle zone limitrofe.

Infine nel terzo stadio verrà effettuata una stima del rischio sismico, del rischio cosismico e del relativo rischio di incidenti rilevanti. Le carte dei rischi saranno ottenute confrontanto le mappe di pericolosità con la carta della vulnerabilità sismica.

Il S.I.T. , quindi, vuole essere uno strumento essenziale, pratico e veloce a disposizione del Dipartimento e, in ultima fase, delle amministrazioni locali competenti al fine della mitigazione del rischio sismico e del rischio industriale associato. Infatti, la gestione dei dati attraverso S.I.T. permette, a partire da un luogo geografico o da un ambito politico-amministrativo prescelto (ad es. comune, provincia, regione, tipo di industria ecc.), di accedere ad una visione simultanea e riassuntiva di tutti i dati connessi al luogo; di comparare speditamente, sotto forma di mappe tematiche, grafici e tabelle, i dati presi in esame con quelli analoghi relativi ad altri luoghi o ambiti; di richiamare, comporre ed elaborare strati informativi diversi (layers), in virtù della trasparenza del formato vettoriale che ne consente la sovrapponibilità; di produrre outputs diversificati (mappe tematiche, grafici e tabelle) in versione video, files o stampa, secondo variazioni di scale, soglie percentuali e scansioni cronologiche variabili e non solo standard o prestabilite.

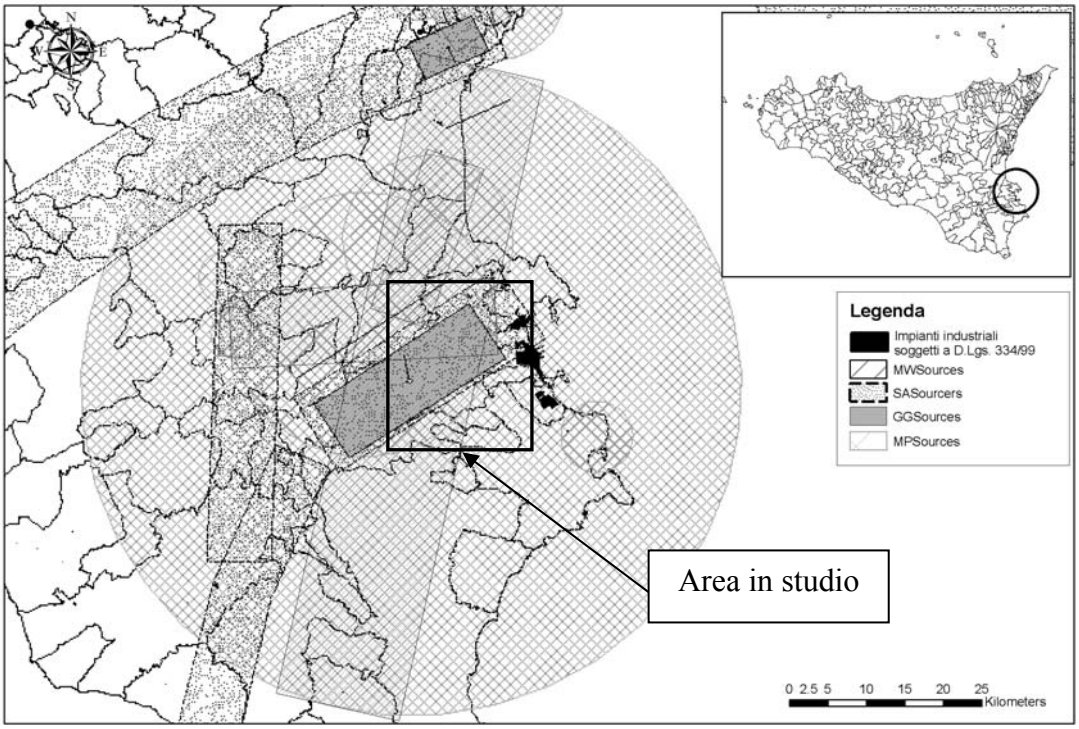

Figura 5 – Esempio di restituzione dei dati contenuti nel S.I.T.: MWSources: Macroseismic-Well Constrained; GGSources: Geological and Geophysical Sources; SASources: Seismogenic Areas Sources; MPSources: Macroseismic-Poorly Constrained – primo stadio.

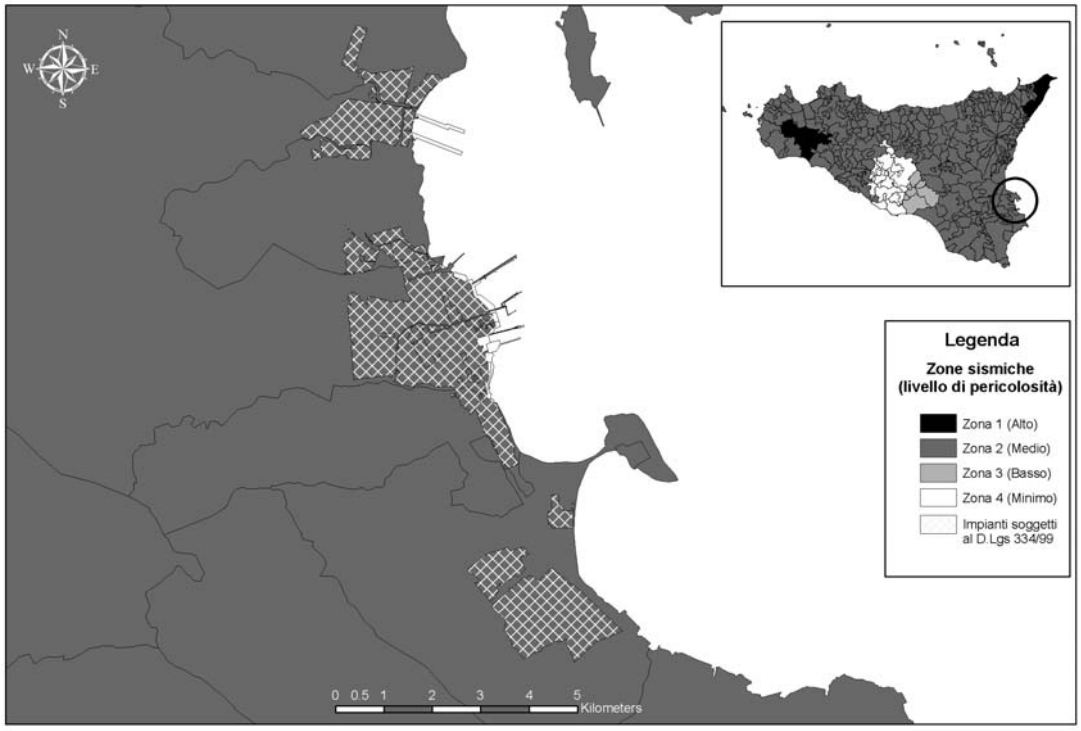

Figura. 6 – Esempio di restituzione dei dati contenuti nel S.I.T. - secondo stadio.

6.0 CONCLUSIONI

Coesistono nel territorio italiano notevoli problematiche connesse ai rischi naturali come il rischio sismico, idrogeologico ed vulcanico, che possono avere un impatto economico e sociale notevole, e dare origine a forti interazioni con il rischio industriale in particolare per quanto concerne gli insediamenti produttivi a Rischio di Incidente Rilevante.
L'obiettivo della presente ricerca è stato quello di individuare una metodologia che permettesse di valutare il rischio sismico, compresi gli eventuali fenomeni cosismici, le interazioni con il rischio industriale al fine della prevenzione e mitigazione degli effetti di un Incidente Rilevante.
La stima della risposta sismica locale viene effettuata attraverso due diversi approcci. Il primo è basato sull'analisi e sull'elaborazione di dati di rumore sismico ambientale eseguite in sito. Mentre il secondo approccio consiste in una simulazione numerica monodimensionale applicata in condizioni di *strong motion*.
L'area di studio è rappresentata dal Distretto Industriale di Priolo Gargallo-Augusta-Melilli, interessante sia sia per gli assetti locali di natura geomorfologica, litostratigrafica e sismotettonica, sia per la presenza numerosa di industrie di varia tipologia e grandezza classificate a Rischio di Incidente Rilevante. L'elemento determinante nell'identificazione dell'area è stato la considerazione dell'elevato grado di pericolosità sismica esistente ed i possibili effetti cosismici che potrebbero interessare l'intera zona, quali maremoti, frane cosismiche e liquefazioni dei terreni.
I risultati ottenuti dalla simulazione andranno ad implementare il Sistema Informativo Territoriale dell'area industriale di Priolo Gargallo-Augusta-Melilli, che costituisce uno strumento essenziale, pratico e veloce al fine della previsione e/o prevenzione del rischio naturale e del rischio industriale associato. Questa metodologia di gestione dell'informazione territoriale ha il pregio di permettere di integrare, in forma di strati informativi, in una banca dati di tipo geografico informazioni anche molto differenti fra loro. Si tratta di un sistema in via di implementazione ed elaborazione delle informazioni.
La microzonazione ed il sistema informativo territoriale, quindi, vogliono essere uno strumento essenziale, pratico e veloce a disposizione delle amministrazioni competenti al fine della prevenzione e mitigazione del rischio sismico, degli altri rischi naturali e del rischio industriale associato.

RIFERIMENTI

[1]. Bianca M., Monaco C., Tortorici L., Cernobori L. (1999): Quaternary normal faulting in south-eastern sicily (Italy): a seismic source for the 1693 large earthquake. *Geophys. J. Int.*

[2]. Hirn A., Nicolich R., Gallart J., Laigle M., Cernobori L., ETNASEIS Scientific Group (1997): Roots of Etna volcano in faults of great earthquakes. *Earth and Planetary Science Letters,* **148**, 171-191.

[3]. Kramer S.L. (1996): Geotechnical Earthquake Engineering. *Prentice Hall,* 653 e seg.

[4]. Lanzi G., Silvestri F. (1999): Risposta sismica locale. Hevelius Edizioni, Benevento, 15 e seg.

[5]. Lentini F. & Vezzani L. (1978): Tentativo di elaborazione di uno schema strutturale della Sicilia Orientale. *Mem. Soc. Geol. It.*, **19**, 495-500, 1 f..

[6]. Monaco C., Tapponier P., Tortorici L., Gillot P. Y. (1997): Late Quaternary slip rates of the Acireale-Piedimonte normal faults and tectonic origin of Mt. Etna (Sicily). *Earth Planet. Sci. Lett.,* **147**, 125-139.

[7]. Monaco C., Tortorici L. (1995): Tettonica estensionale quaternaria nell'Arco Calabro e in Sicilia orientale. *Studi Geologi Camerti*, Volume Speciale No **2**, 351-362.

[8]. Nakamura, Y., A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. *Quarterly Reports of the Railway Technical Research Institute Tokyo*, **30**, 25–33, 1989.

[9]. Sanò T., Pugliese A. (2007): Le analisi numeriche per la Valutazione della risposta sismica locale. *La risposta sismica locale per la progettazione strutturale,* 151-187.

[10]. Tortorici L., Tapponier P., Winter T. (1986): Faulting during the 1783 Calabria earthquakes and tectonics of the Messina Strait. *AUG, EOS,* 67, 1188.

[11]. Tortorici M., Monaco C, Tansi C., Cocina O. (1995): Recent and active tectonics in the Calabrian Arc (Southern Italy). *Tectonophysics*, **243**, 37-55.

[12]. Westway R. (1992): Seismic Moment Summation for Historical Earthquakes in Italy: Tectonic Implications, *J. Geophys. Res.,* **97**, 15437-15464.

[13]. Westway R. (1993): Quaternary uplift of Southern Italy, *J. Geophys. Res.,* **98**, 21741-21722.