

SVILUPPO DI UN DATABASE GEOLOGICO PER L'ANALISI DEI RISCHI NATURALI NELLE ATTIVITA' PRODUTTIVE DELLA PIANA DI SULMONA (L'AQUILA)

Rinaldini A., Pecci M., Marino A., Bellagamba S., & Ciucci M.

ISPESEL/D.I.P.I.A., Via Urbana 167, 00184 Roma
al.rinaldini@libero.it

ABSTRACT

Nel presente lavoro vengono riportati i dati ottenuti da uno studio multidisciplinare condotto nel margine centro occidentale della Conca di Sulmona (L'Aquila) finalizzato alla valutazione delle condizioni di sicurezza delle attività produttive rispetto ai rischi naturali, in particolare nei confronti dei rischi sismico e idrogeologico.

A tale scopo sono state condotte nell'area in esame indagini geomorfologiche e prospezione geoelettriche e di sismica a rifrazione. Sulla base dei dati raccolti sono stati individuati due siti per l'esecuzione di sondaggi meccanici che hanno permesso l'esecuzione di prospezioni in situ tipo *cross-hole* a onde S e onde P, con cui si è valutata, attraverso l'analisi dei moduli elastici dinamici, la risposta sismica locale.

La gestione, l'elaborazione e integrazione dei diversi livelli informativi prodotti ha permesso lo sviluppo di un GIS dedicato nell'analisi dei potenziali scenari incidentali che possono coinvolgere gli impianti industriali. Il GIS così elaborato consente inoltre di individuare l'estensione dai singoli impianti delle diverse aree di danno e di analizzare il grado di vulnerabilità d'area rispetto ai fenomeni naturali, come quello sismico e idrogeologico.

1. INTRODUZIONE

La tutela della salute e il miglioramento delle condizioni di sicurezza negli ambienti di lavoro e di vita costituisce uno dei principali compiti istituzionali dell'ISPESEL. Tale impegno si esplica attraverso l'attività di ricerca nel settore della prevenzione, individuando i potenziali fattori di rischio ed adottando le misure idonee alla loro riduzione o eliminazione. Per essere efficace, tale metodologia di indagine deve avere un carattere areale, cioè non deve interessare esclusivamente il *layout* dello stabilimento industriale, ma deve riguardare in tutte le sue componenti (acqua, aria e suolo) anche l'ambiente circostante su cui si svolge l'attività produttiva. L'analisi del territorio assume quindi un ruolo di primaria importanza al fine di disporre di elementi utili ad un giudizio complessivo sulla vulnerabilità d'area.

Tale approccio metodologico è stato applicato all'analisi delle condizioni di rischio degli impianti industriali presenti nella Conca di Sulmona. Le conche intramontane costituiscono un elemento fisiografico peculiare dell'Appennino centrale e costituiscono le aree di colmamento di antichi bacini fluvio-lacustri. Queste strutture (la Piana del Fucino, di Rieti e la stessa Conca di Sulmona) sono depressioni di origine tettonica che si sviluppano su superfici anche di centinaia di km², favorendo lo sviluppo di importanti centri urbani e la maggior parte delle attività produttive all'interno della catena appenninica.

La scelta del bacino intramontano di Sulmona come area di studio è stata data sia in relazione agli assetti locali di natura geomorfologica, litostratigrafica e sismotettonica, sia per la presenza di numerose industrie di varia tipologia e grandezza (di cui alcune soggette alle disposizioni contenute nel D. Lgs. 334/99). Inoltre, altro elemento determinante nell'identificazione dell'area su cui sviluppare le indagini è stata la considerazione dell'elevato grado di pericolosità sismica esistente (area con Comuni classificati di prima categoria secondo la recente Ordinanza della PCM n° 3274/03).

2. GEOLOGIA DELLA PIANA DI SULMONA

Le dorsali montuose che circondano la Conca di Sulmona sono costituite da successioni carbonatiche di età meso-cenozoica ascrivibili a *facies* di piattaforma, di soglia e transizione. Tali ambienti deposizionali si succedono progredendo rispettivamente da ovest (dorsali di *shelf* e di soglia del M. Sirente) verso est (litotipi di transizione presenti nella dorsale del M. Genzana- M Greco). La presenza di ambienti deposizionali differenti, è testimoniata dalla notevole variabilità litologica che si riscontra nelle diverse successioni carbonatiche, costituenti l'impalcatura delle principali dorsali montuose [1], [2], [3] e [4].

Durante il Miocene superiore l'intera area è stata coinvolta nell'evoluzione del sistema orogenico dell'Appennino, caratterizzato in questo settore della catena da un sistema di sovrascorrimenti adriatico-vergenti a direzione NW-SE. Tale meccanismo determinò la formazione di profonde avansosse, nelle quali si depositarono, lungo i fronti di accavallamento e durante il progressivo sollevamento della catena, potenti successioni di *fisch* e unità terrigene tortoniano-messiniane.

A partire dal Pliocene superiore, la catena appenninica fu interessata da eventi tettonici distensivi, il cui settore di influenza si propagò progressivamente verso est. Si generarono importanti sistemi di faglie dirette che localmente diedero origine ai bacini intramontani appenninici, tra cui la Conca di Sulmona (figura 1). Queste depressioni vennero colmate da potenti successioni di depositi clastici continentali plio-quadernari, spesso diverse centinaia di metri e che mostrano una geometria asimmetrica, con il lato orientale molto più profondo a causa del meccanismo di formazione del bacino stesso.

Nel suo complesso, la Conca di Sulmona si estende per una lunghezza di circa 20 chilometri in direzione nord-ovest sud-est con larghezze comprese dai 7 ai 4 km. Al suo interno le quote variano da 250 a circa 400 m s.l.m.

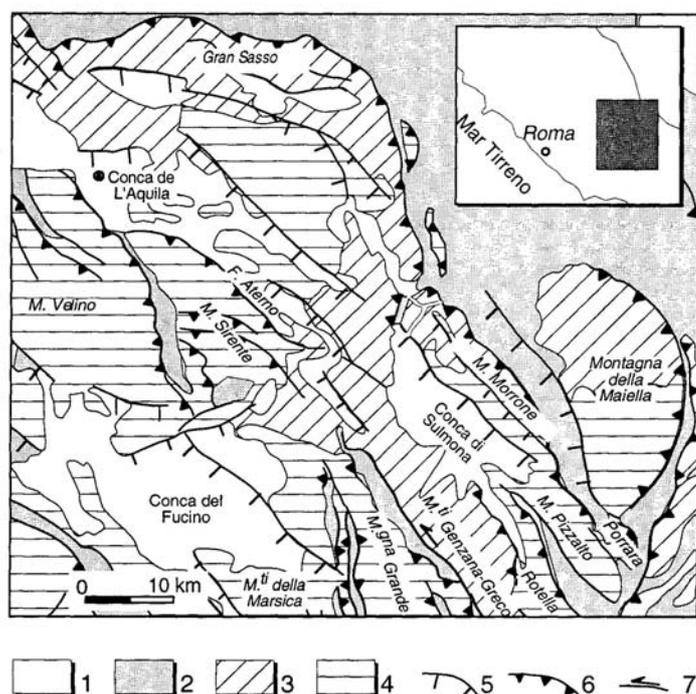


Figura 1 - Schema tettonico generale dell'Appennino centrale da [4].

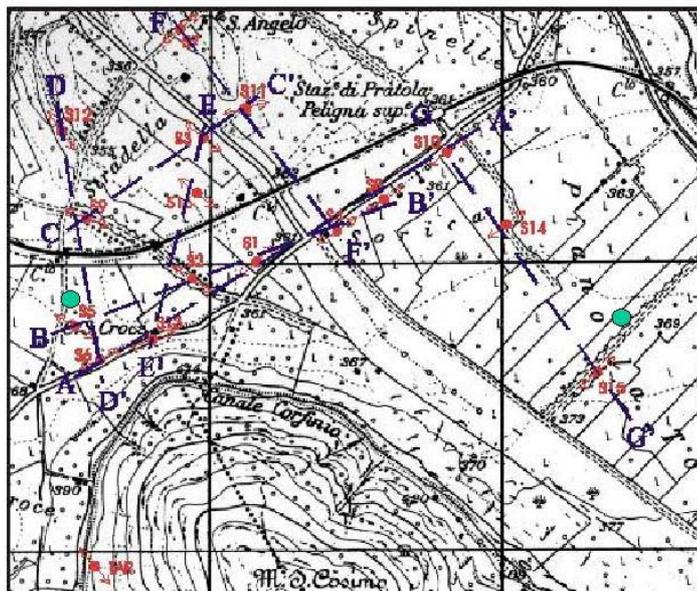
- 1) Successioni continentali plio-quadernarie;
- 2) Successioni marine terrigene mioceniche;
- 3) Successioni marine carbonatiche meso-cenozoiche in facies di transizione;
- 4) Successioni marine carbonatiche meso-cenozoiche in facies di piattaforma carbonatica e soglia;
- 5) Faglie dirette;
- 6) Sovrascorrimenti;
- 7) Faglie trascorrenti.

3. PROSPEZIONI GEOFISICHE

Sulla base delle informazioni acquisite dai rilievi geologici e geomorfologici è stata definita la più idonea metodologia di indagine geofisica da applicare per lo scopo del presente lavoro. In particolare le caratteristiche dell'area hanno consentito di utilizzare come tecniche di indagine le prospezioni geoelettriche, quelle di sismica a rifrazione e l'indagine sismica tra coppie di fori (*cross-hole*). Nella figura 2 è riportata l'ubicazione delle indagini eseguite nell'area.

Lo studio dei terreni mediante Sondaggi Elettrici Verticali (SEV) ha consentito di delineare l'andamento delle formazioni investigate e quindi di definire un modello geologico dell'area, e al tempo stesso di individuare i terreni sede di potenziali acquiferi. La sismica a rifrazione per onde P ed S è stata effettuata oltre che per caratterizzare dal punto di vista elastico le formazioni superficiali presenti, anche per individuare le aree dove sarebbe stato possibile eseguire le prospezioni di sismica in foro.

L'utilizzo delle indagini sismiche in foro tipo *cross-hole* ha permesso infine di determinare nel dettaglio le caratteristiche elastiche dei terreni (velocità delle onde P ed S), in particolare per i materiali più superficiali, compresi entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna.



Legenda:

Scala: 1:20.000

 S.E.V.

 Indagine cross-hole

 Sezione elettrica

Figura 2: Ubicazione delle indagini geofisiche eseguite nella Conca di Sulmona

3.1. SONDAGGI ELETTRICI VERTICALI (SEV)

Per quanto riguarda le indagini geoelettriche sono stati realizzati 16 SEV secondo la configurazione elettrodica del tipo Schlumberger con valori minimi di $AB/2$ pari a 2 m, e massimi compresi fra i 120 e 320 m, distanze che hanno consentito di investigare profondità massime di circa 100-120 metri. Per le misure è stato utilizzato uno strumento alimentato da una batteria al Ni-Cd da 12 V ed in grado di generare correnti variabili fra 0.2 e 500 mA.

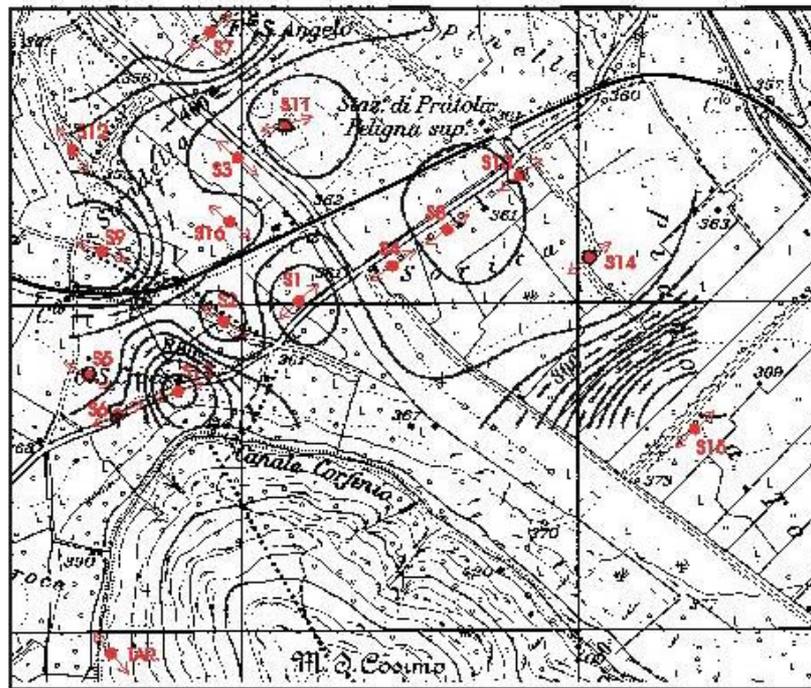
Alcuni SEV sono stati effettuati in un'area prossima al M. S. Cosimo al fine di cercare di determinare la profondità del substrato calcareo al di sotto della coltre alluvionale. L'interpretazione e l'elaborazione del modello dei SEV è stato ottenuto utilizzando gli abachi di curve teoriche di resistività apparente al fine di fornire i valori iniziali dei parametri (numero degli strati, resistività e spessore di ciascuno strato) su cui successivamente è stato applicato il metodo iterativo di risoluzione basato sul metodo di inversione dello "steepest descent" [5]. La correttezza del modello restituito è valutata con lo scarto quadratico medio finale tra la curva di campagna e quella teorica proposta.

Dai dati risulta che i SEV localizzati in prossimità del Monte S. Cosimo indicano la presenza di un substrato ad alta resistività ($800-1000 \Omega \times m$) lungo tutta la profondità di investigazione; nel settore orientale invece si riscontra uno strato a resistività medio alta ($70-200 \Omega \times m$) attorno ai 40 metri di profondità, mentre, nel settore nord-occidentale, tale strato è assente.

I risultati ottenuti dall'interpretazione dei sondaggi elettrici sono stati utilizzati per studiare, attraverso una rappresentazione tipo "contour" le caratteristiche dello strato resistivo, individuato mediamente a 35 metri di profondità in quasi tutti i sondaggi. Il mezzo in questione è delimitato alla base ed al tetto da due mezzi a bassa resistività (argille e limi-sabbiosi), e presenta tutte le caratteristiche per costituire un potenziale acquifero. La scelta di visualizzare il rapporto $\rho x h$ (Fig.3), in realtà privo di significato fisico, ha tuttavia il vantaggio di evidenziare la presenza di un mezzo idoneo ad ospitare l'acquifero. Infatti un alto valore del prodotto $\rho x h$ indica o un elevato valore di resistività o un alto spessore delle litologie che per le loro proprietà possono ospitare la falda.

Dall'analisi delle sezioni elettrostratigrafiche, si può notare che in corrispondenza delle pendici di Monte S. Cosimo lo strato raggiunge valori di resistività più alti, dovuti ad una natura prevalentemente ghiaiosa dei depositi, mentre verso valle, l'arricchimento nelle frazioni più fini, comporta una diminuzione di resistività. In conformità al legame tra la diminuzione di resistività e l'aumento delle frazioni fini, si può ritenere che valori di resistività più alti possano corrispondere a mezzi macroscopicamente più permeabili, mentre dove s'individuano valori di resistività più bassi si può ragionevolmente ipotizzare una minore permeabilità del

mezzo. In accordo con tale interpretazione l'andamento delle isolinee, come si osserva in figura, indica valori massimi nelle aree prossime al M. S. Cosimo.



Scala: 1:20.000

Figura 3: Curve delle isolinee $\rho \times h$.

3.2. – INDAGINI SISMICA A RIFRAZIONE

Le indagini di sismica a rifrazione per onde P sono state condotte realizzando 7 linee sismiche, formate da uno stendimento di 24 geofoni posti ad una distanza di 5 m. La sismica a rifrazione ad onde S è stata realizzata con 3 linee sismiche di 22 metri di lunghezza (12 geofoni) con i geofoni posti ad una distanza di 2 m; le linee sono state ubicate in corrispondenza di alcune linee ad onde P.

Lo strumento utilizzato per l'acquisizione e la registrazione dei dati è il sismografo a 24 canali con intervallo di campionamento utilizzato di 200 μ s. Per entrambe le campagne sismiche sono stati impiegati geofoni monodirezionali con frequenza propria di 7 Hz. Per l'indagine ad onde P sono stati utilizzati geofoni verticali, mentre l'indagine ad onde S è stata realizzata con geofoni orizzontali.

I tempi di primo arrivo delle onde P sono stati riportati nei diagrammi spazio tempo e interpretati con l'ipotesi di strati piani e paralleli. Lo schema adottato è stato quello a tre strati sovrapposti, ciascuno con la velocità dell'onda P costante con la profondità. I risultati delle prospezioni sismiche ad onde S hanno consentito di calcolare i moduli del terreno E e μ ed il coefficiente di Poisson (ν), ponendo, sulla base di dati di letteratura, una densità media del terreno $\delta=1,9 \text{ kg/dm}^3$ (Tab.I).

| Moduli elastici | LINEA 2 | | LINEA 3 | |
|----------------------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| | Primo mezzo | Secondo mezzo | Primo mezzo | Secondo mezzo |
| $\delta \text{ [kg/m}^3\text{]}$ | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 |
| Velocità S [m/s] | 210-220 | 400 | 340 | 440 |
| $\mu_{\text{max}} \text{ [Mpa]}$ | 85-90 | 300 | 220 | 300 |
| ν | 0.28 | 0.33 | 0.25 | 0.41 |
| E [Mpa] | 215-235 | 800 | 550 | 1050 |

Tab. I. Moduli elastici relativi ai due mezzi individuati dalla sismica a rifrazione ad onde S.

3.3. – INDAGINE SISMICA *CROSS-HOLE* E COEFFICIENTI ELASTICI DINAMICI

La campagna di misure *cross-hole* è stata effettuata in corrispondenza di due coppie di sondaggi meccanici distanti tra loro 5 metri e profondi circa 55 m, realizzati in due siti diversi dell'area in studio. Nell'indagine *cross-hole* i dati, per ogni scoppio effettuato, si presentano nella forma di 14 tracce sismiche corrispondenti ai 14 geofoni posizionati all'interno del sondaggio. Nell'indagine a onde P, una volta acquisiti i tempi di primo arrivo delle onde relativi ai vari percorsi indagati, è stata applicata la tecnica della tomografia sismica.

Nei risultati del rilievo ad onde S effettuato a Piano la Torre (figura 4), si nota una sostanziale uniformità di velocità lungo tutta la sezione investigata. I valori misurati sono compresi tra i 200 ed i 300 m/s; la stratigrafia corrispondente a questo profilo riporta, fino alla profondità investigata con le misure ad onde S, una alternanza di livelli ghiaiosi in matrice sabbio-limosa e orizzonti più fini, prevalentemente limi da sabbiosi ad argillosi.

I dati della tomografia sismica (onde P) evidenziano la presenza fino a 45 m di profondità di un'ampia fascia con velocità media di 1700 m/s corrispondente ad una alternanza di livelli eterogenei in cui a limi sabbiosi-argillosi si alternano anche frazioni ghiaiose. Al di sotto di tale livello i dati indicano la presenza di un mezzo caratterizzato da velocità superiori ai 2000 m/s, dovuto alla presenza di uno spesso strato di ghiaie che come riscontrato dalla stratigrafia.

Nell'area di Casale S. Croce il *log* mostra un aumento piuttosto regolare della V_s con la profondità fino ad arrivare a valori di quasi 500 m/s a 52 m dal p.c. La stratigrafia del sito mostra una sostanziale omogeneità delle formazioni interessate, si tratta di limi da sabbiosi ad argillosi con modesta presenza di frazioni ghiaiose; il miglioramento delle caratteristiche elastiche con la profondità è dovuta più all'effetto del carico litostatico che ad un cambiamento di litologia.

La sezione tomografica rispecchia piuttosto fedelmente la sostanziale omogeneità di formazioni che è indicata anche dalla stratigrafia. A partire dai -55 m fino ai -10 m i valori di velocità si discostano molto poco dal valore medio di 1600 m/s, valore perfettamente compatibile con le litologie in prevalenza limose che sono state riscontrate nel sito.

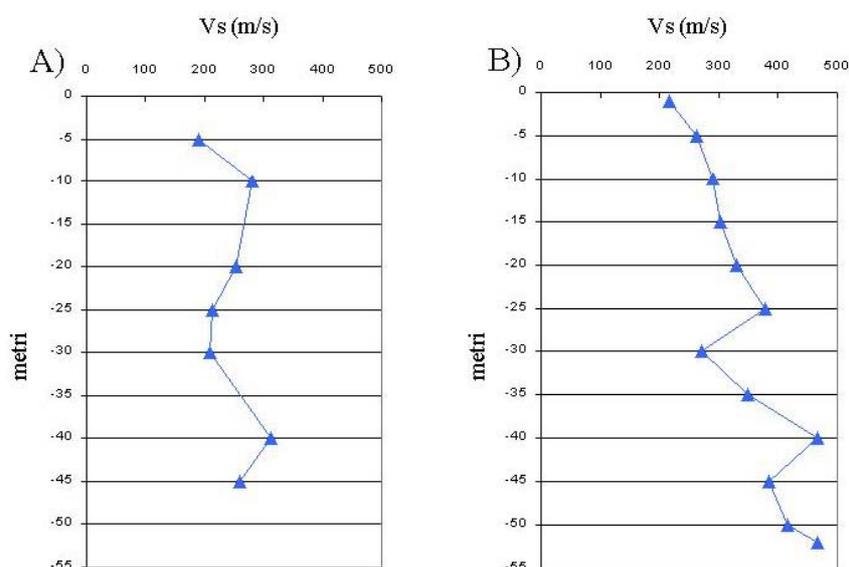


Figura 4. Indagini *cross-hole* ad onde S eseguite nei siti di Piano della Torre (A) e di Casale S. Croce (B).

Uno degli obiettivi delle misure *cross-hole* realizzate per questa campagna -oltre a definire le distribuzioni delle velocità delle onde elastiche P ed S-, è stata la ricostruzione della distribuzione dei coefficienti elastici dinamici all'interno delle sezioni studiate.

I coefficienti elastici dinamici qui presentati sono il modulo di Young E ed il coefficiente di Poisson ν . Tali coefficienti sono funzione delle velocità delle onde sismiche e della densità del mezzo secondo le due relazioni:

$$E = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \delta \cdot V_s^2 \quad (1)$$

e

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2 \cdot \left[\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 1\right]} \quad (2)$$

Per la determinazione di E e ν è stata considerata una densità compresa tra 1.9 kg/dm³ per gli strati più superficiali, e di 2.1 kg/dm³ per quelli più profondi.

Dai dati ottenuti nel rilievo eseguito in Casale S. Croce si osserva che, il modulo di Young E aumenta con la profondità, dai 200 MPa fino a quasi 1400 MPa, mentre il coefficiente di Poisson ν va tendenzialmente diminuendo dal valore di 0,49 a 6 m dal piano campagna fino a circa 0,45 alla profondità di 45 m.

Per Piano la Torre si presenta una situazione diversa, con un modulo di Young piuttosto uniforme attorno al valore di 400 MPa ed un coefficiente di Poisson in tendenziale crescita con la profondità e costantemente molto elevato, pari a circa 0.48-0,49.

4. MICROZONAZIONE

La microzonazione ha il compito di determinare l'effetto esercitato sul terreno di copertura dall'onda sismica proveniente dal substrato roccioso. Tale effetto può tradursi o in un'amplificazione o in uno smorzamento dell'onda incidente, che può essere valutato attraverso l'analisi di un modello fisico creato con informazioni quali le caratteristiche geometriche e fisiche del terreno (spessori degli strati, profondità del substrato roccioso, densità volumetrica, velocità delle onde di taglio, etc.)

Per determinare tali caratteristiche sono stati utilizzati i dati forniti dalle indagini geofisiche di superficie ed in foro. Successivamente sono stati costruiti dei modelli fisici da utilizzare per il calcolo della risposta sismica. Per l'esecuzione del calcolo si è utilizzato un software che attraverso la soluzione dell'equazione differenziale della propagazione delle onde elastiche determina gli effetti del sisma in termini di amplificazione e di accelerazioni sulle singole superfici di discontinuità tra i vari mezzi.

Come modello fisico del terreno della località Piano la Torre, si è scelta un'alternanza di ghiaie ed argille come mostrato in tabella II. Il substrato è stato posto ad una profondità di 110 metri sulla base delle indagini SEV. Le velocità delle onde S dei singoli strati sono stati ricavati attraverso l'indagine tra coppie di fori. I diagrammi necessari per il calcolo di G/G_{max} e i valori degli smorzamenti sono stati ricavati dalla letteratura [6], [7] e [8].

| Mezzi | Spessori (m) | Vs (m/s) | Densità (Kg/dm ³) |
|---------|--------------|----------|-------------------------------|
| Ghiaia | 10 | 230 | 1.9 |
| Argilla | 35 | 250 | 1.9 |
| Ghiaia | 15 | 450 | 2.0 |
| Argilla | 50 | 550 | 2.0 |
| Calcere | | 2000 | 2.1 |

Tabella II: Dati di *input* forniti al programma relativi alla località Piano la Torre

Dato che non si era in possesso di un accelerogramma reale del sito è stato elaborato un accelerogramma sintetico con risposta unitaria. Come risultato in figura 5 è presentato il diagramma ottenuto per la zona di Piano la Torre, che in funzione della frequenza fornisce la risposta del sito in termini di amplificazione. Osservando il diagramma si può notare che la massima amplificazione la si ottiene alle basse frequenze 2÷3 e 5 Hz delle onde sismiche ed è pari a circa 5.5. All'aumentare delle frequenze l'amplificazione diminuisce fino a ridursi di circa un quinto attorno ai 20 25 Hz.

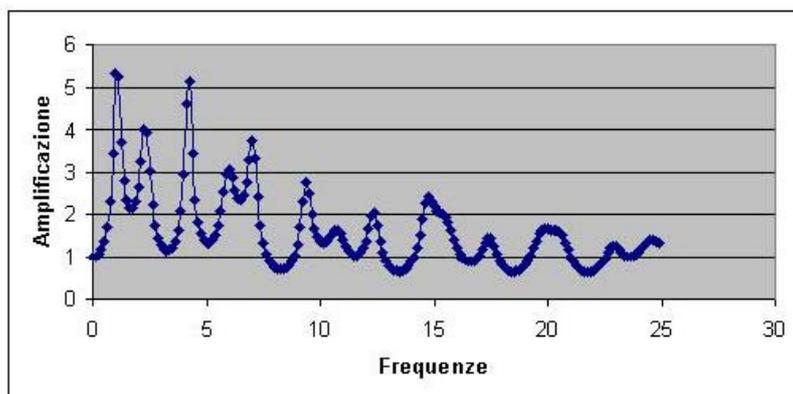


Figura 5. Spettro di amplificazione del I° mezzo rispetto al substrato in Piano la Torre.

5. SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE

Per la raccolta e organizzazione delle informazioni alfanumeriche e cartografiche ai fini della caratterizzazione dell'area e dell'individuazione delle interazioni tra attività produttive e rischi naturali è stato creato un Sistema Informativo Territoriale (SIT) dedicato.

Per essere inserita in un SIT, ogni informazione raccolta deve essere georeferenziata in un sistema di riferimento cartografico omogeneo e rappresentata in matrici di dati (formato raster) o mediante insiemi di elementi geometrici (formato vettoriale) a cui sono associati i rispettivi attributi mediante collegamento ad un *database* alfanumerico. Ciascun insieme di informazioni omogenee viene archiviato separatamente organizzando i dati in livelli informativi.

Peculiarità dei GIS è la strutturazione topologica dei dati (gestione delle informazioni sulle mutue relazioni spaziali degli elementi), la possibilità di effettuare un'analisi sugli attributi, la possibilità di elaborare i dati geografici attraverso algoritmi matematici. Gli algoritmi consentono di combinare tra loro i diversi livelli informativi come la sovrapposizione o l'analisi di prossimità e il *buffering*, che permettono di creare nuovi livelli informativi associando i dati in modo da identificare relazioni altrimenti non chiaramente visibili.

I vantaggi principali dell'applicazione GIS risiedono nella facilità di interrogazione del contenuto informativo e proprio per queste caratteristiche possono essere utili strumenti per affrontare e gestire al meglio le procedure di analisi del rischio. Tali possibilità di analisi rendono il GIS non solo un sistema di archiviazione e visualizzazione di informazioni cartografiche, ma un vero e proprio strumento di supporto alle decisioni.

6. TELERILEVAMENTO APPLICATO ALL'AREA INDUSTRIALE DI SULMONA

Il MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) è uno strumento modulare costituito da 4 spettrometri con 102 canali che riprendono simultaneamente la radiazione proveniente dalla superficie terrestre. Nel campo del visibile, 20 canali registrano tra 0.43 e 0.83 μm , nell'infrarosso vicino, 8 bande registrano tra 1.15 e 1.55 μm , nell'infrarosso medio, 64 bande registrano tra 2.0 e 2.5 μm , e nell'infrarosso termico, 10 bande registrano tra 8.2 e 12.7 μm .

Le immagini dell'area industriale della Conca di Sulmona, una volta radiometricamente calibrate, sono state georeferite utilizzando le ortofoto AIMA. Tale processo è stato effettuato con un algoritmo basato sui Ground Control Points, con interpolazione spaziale lineare e intensità di ordine zero (*nearest neighbour*).

La prima delle immagini (figura 6) è ricavata sovrapponendo poligoni vettoriali (confini dell'agglomerato industriale, i principali lotti industriali e il piano regolatore) su ortofoto digitale dell'area industriale di Sulmona, opportunamente presentata in grigio per non confondere i dati sovrapposti.

Nel caso dei lotti industriali, ad esempio, sono state raccolte le seguenti informazioni: tipo di poligono, numero del lotto, area, perimetro, nome dell'industria, numero degli addetti, tipologia di produzione. E' quindi possibile "cliccare" su un lotto particolare per far apparire sullo schermo l'informazione pertinente al lotto stesso, debitamente classificata (figura 7). Questa informazione può includere anche le elaborazioni iperspettrali che è possibile evidenziare interrogando il software.

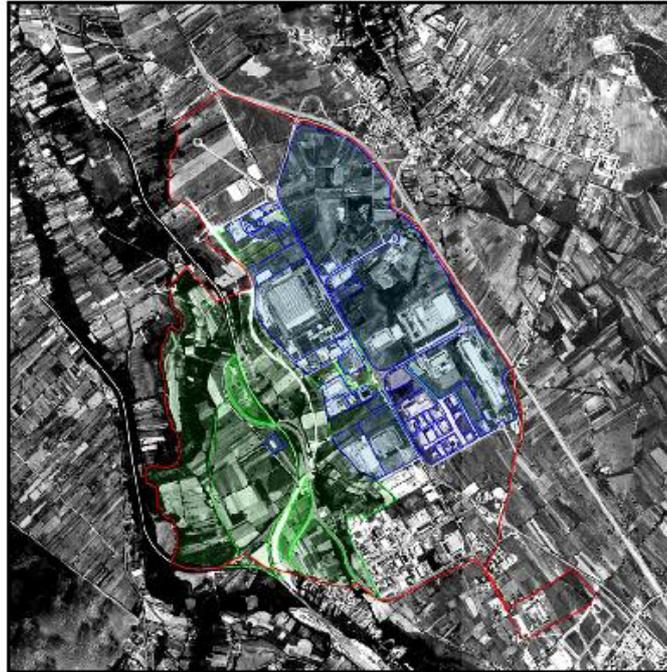


Figura 6 - Area industriale di Sulmona. Esempio di sovrapposizione di informazione spaziale esterna alla cartografia di base. L'ortofoto dell'area, espressa in grigio come immagine di sfondo, è stata sovrapposta con il perimetro dell'agglomerato industriale (rosso), i dati vettoriali relativi al piano regolatore (verde), e i lotti principali delle firme presenti nell'area industriale (blu).

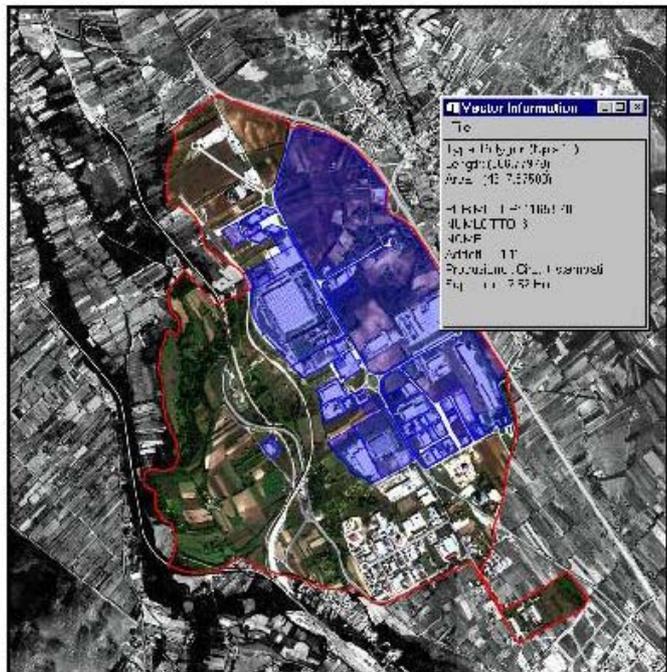


Figura 7 - Area industriale di Sulmona. Esempio di utilizzo di un Sistema Informativo Geografico su base fotografica.

7. CONCLUSIONI

L'insieme di indagini a carattere multidisciplinare svolte nell'area della conca di Sulmona consentono di trarre alcune conclusioni di carattere generale in merito alla definizione delle condizioni di rischio geologico in aree interessate dalla presenza di impianti industriali ad elevata pericolosità. A questo riguardo, la piana di Sulmona è stata ritenuta rappresentativa di altre aree in zona di conca interna dell'Appennino centrale e per tale motivo scelta quale sito di studio.

La conca di Sulmona è caratterizzata da una notevole complessità geologico-strutturale che riguarda sia il substrato carbonatico che le successioni quaternarie continentali. Queste sono costituite, nella parte centrale della conca, da depositi limoso-argillosi riferibili ad ambienti di natura lacustre e palustre cui si sovrappongono depositi sabbioso-conglomeratici fluviali. Dal punto di vista tettonico l'elemento più importante è il sistema di faglie, a direzione appenninica, che si segue in affioramento da Popoli a Pacentro, ben visibile su tutto il versante occidentale della Montagna del Morrone, che borda ad est la conca di Sulmona. Questo sistema ha guidato e guida l'evoluzione sedimentaria e tettonica del bacino, caratterizzato da una geometria tipo *half graben*.

Dal punto di vista geologico e geomorfologico la conca di Sulmona è caratterizzata da diverse tipologie di rischio ed essenzialmente connesse all'elevata sismicità dell'area, storicamente documentata, alla presenza di aree potenzialmente esondabili e alle condizioni di instabilità dei versanti che la circondano lungo tutto il suo perimetro.

In relazione a scenari di rischio sismico, la principale struttura sismogenetica è localizzata sul margine nord-orientale della conca ed è costituita dal sistema di faglie dirette del M. Morrone, a direzione NW-SE e inclinazione verso SW. In relazione alle condizioni di rischio idraulico, l'analisi geomorfologica ha evidenziato la presenza di aree potenzialmente esondabili lungo tutti i principali corsi d'acqua, ma soprattutto nel settore settentrionale e più depresso della piana in prossimità dell'abitato di Popoli. In tale zona le aree potenzialmente esondabili risultano più ampie e ripetute sono le testimonianze di eventi alluvionali. In relazione a scenari di rischio di frana, l'area a maggiore criticità corrisponde al versante SW del M. Morrone, laddove sono stati rilevati estesi corpi di frana per colata di detrito e più localizzati corpi di frana per crollo. La presenza di numerosi corpi di frana inattivi pone in evidenza la lunga evoluzione per morfogenesi gravitativa di tale settore ai bordi della conca di Sulmona.

In merito alle indagini geofisiche, i risultati delle misure effettuate sia in superficie sia in foro, nei due siti di Piano La Torre e C. S. Croce, hanno posto in luce la presenza di corpi litologici, a diversa resistività e con differenti caratteri di deformabilità, a conferma del quadro deposizionale descritto in precedenza. Data la notevole pericolosità sismica dell'area, specifiche indagini si sono concentrate sulla valutazione della risposta sismica locale, con particolare riferimento a problemi di amplificazione dell'input sismico. Le indagini condotte nell'area di Piano La Torre hanno mostrato che la massima amplificazione si ha per frequenze di 2÷3 e 5 Hz ed è pari a circa 5.5, mentre lo stesso valore di amplificazione si osserva a C. S. Croce per frequenze di 1.5 Hz. Inoltre, con l'aumentare delle frequenze l'amplificazione diminuisce fino a ridursi di circa un quinto attorno ai 20-25 Hz. A tal riguardo, è da porre in evidenza che nell'area di C.S. Croce sono presenti insediamenti produttivi e depositi di automezzi, mentre nell'area di Piano La Torre sono presenti colture ed edifici ad uso abitativo. Infine, le prove condotte hanno fornito valori dei moduli di deformabilità al taglio che attestano significativi fenomeni di amplificazione sismica e possibili processi di liquefazione dei terreni.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Accordi, F. Carbone, G. Civitelli, L. Corda, D. De Rita, D. Esu, R. Funicello, T. Kotsakis, G. Mariotti A. Sposato, Note illustrative alla carta delle litofacies del Lazio-Abruzzo ed aree limitrofe. Prog. Fin. Geodinamica, *Quaderni de "La Ricerca Scientifica"*, C.N.R., Roma, Vol.114(5) p.223 (1988).
- [2] A. Giovannelli, Le Unità carbonatiche circostanti la pianura di Sulmona (AQ). Stratigrafia, analisi di facies e paleogeografia. *Tesi di Dottorato A.A. 1991-1992*, Università degli studi di Roma "La Sapienza" (1992).
- [3] E. Miccadei, Geologia dell'area Alto Sagittario-Alto Sangro (Abruzzo, Appennino centrale). *Geologica Romana*, Vol.29, pp. 463-481 (1993).
- [4] E. Miccadei, M. Parotto, Geologia dell'area di M. Rotella - M. Pizzalto - M. Porrara (Abruzzo, Appennino centrale). *Geologica Romana*, Vol.34, (1999).
- [5] G. Koefoed - Geosounding principle of resistivity sounding measurements, Elsevier, Amsterdam (1979).
- [6] Sun J. I., Golezorkhi R. & Seed H. - Dynamic moduli and damping ratios for cohesive soils, *Report No. UCB/EERC-88/15*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, p. 42

(1988).

[7] I. M. Idriss, Response of soft soil sites during earthquakes, *Memorial Symposium to honor Professor Harry Bolton Seed*, Berkeley (CA), Vol.II, (1990).

[8] P.B. Schnabel, J. Lysmer, S H Bolton, SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, *Report No. UCB/EERC-72/12*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, p. 102 (1972).

9. ELENCO DEI SIMBOLI

E: Modulo di Young

ν : Coefficiente di Poisson

G: Modulo di taglio