

10. RICONOSCIMENTO E LOCALIZZAZIONE DELLE DIFFERENTI STRUTTURE 1D PRESENTI ALL'INTERNO DEL CENTRO STORICO DELLA CITTÀ DI PALERMO: EFFETTI ATTESI SULLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

R. Catalano, M.S. Giammarinaro

10.1 Analisi litostratigrafica e zonazione litotecnica dell'area

La prima fase della ricerca ha riguardato l'analisi di circa trecento stratigrafie relative a sondaggi meccanici ricadenti all'interno del perimetro del Centro Storico. I sondaggi disponibili, che raggiungono profondità differenti, non ricoprono in maniera omogenea l'area indagata. Di essi solo sessanta attraversano l'intera copertura quaternaria su cui il Centro Storico di Palermo insiste e intercettano il tetto della successione Oligo-Miocenica (Flysch Numidico) che nell'area costituisce il substrato su cui poggia in discordanza la suddetta copertura quaternaria.

La ricostruzione, con i dati a disposizione, dell'andamento del tetto del Flysch Numidico (Fig. 10.1) in tutta l'area del Centro Storico ad eccezione del settore sud-orientale dove solo due sondaggi intercettano la formazione, ha evidenziato la presenza di un sistema di dislocazioni con andamento, SW-NE e NW-SE, che suddivide il Centro Storico in due settori (1 e 2) caratterizzati da successioni stratigrafiche differenti. Nel settore 1 a diretto contatto con il Flysch Numidico si rinvengono depositi calcarenitici, nel settore 2 a diretto contatto con il substrato flyschoidale, intercettato a maggiore profondità, si rinvengono sabbie limo-argillose che passano verso l'alto a depositi calcarenitici.

L'esame delle isobate del tetto del Flysch Numidico ottenute ha inoltre evidenziato che:

a) Il tetto della formazione, intercettato a + 15m s.l.m. nell'estremità del settore Nord-Occidentale dell'area, si immerge progressivamente verso SE;

b) su questo progressivo approfondimento si inserisce una brusca rottura di pendenza che, determinando nel settore NW, su una distanza di soli 30m, un abbassamento del tetto del Flysch Numidico di circa 30m, ha portato ad ipotizzare la presenza del sopra citato sistema dislocativo. A nord di questo il tetto del Flysch Numidico si rinviene ad una profondità media di circa +10m s.l.m., a sud di circa -20m s.l.m.

I gradini morfologici osservati appaiono allineati con i sistemi di faglie pleistoceniche riconosciute nell'area da vari autori (Catalano et al., 1979; 1995; 1998; Abate et al., 1982; Catalano e D'Argenio, 1982; Todaro, 1995).

Precedenti studi avevano riconosciuto due litofacies principali nella copertura quaternaria dal basso verso l'alto:

1. Litofacies delle sabbie limo-argillose, afferenti secondo alcuni autori al Complesso delle Argille Azzurre (Liguori e Cusimano, 1978; Ruggeri e Strovieri, 1975). Questi depositi databili, in base al loro contenuto di nannofossili calcarei, tardo Emiliano-Siciliano giacciono sul Flysch Numidico come mostrato a Cava Puleo (Ficarazzi, Palermo), località tipo del Siciliano, dove esibiscono spessore di circa 50m (Fig. 10.1) (Di Stefano, 1998; Buccheri, 1984).

2. Litofacies delle calcareniti: di spessore variabile da alcuni metri ad alcune decine di metri costituisce la parte più superficiale dei depositi quaternari. La grande varietà di rocce presente in questo complesso (i termini più frequentemente rinvenuti sono le calcareniti nodulari e alternanze di calcareniti e sabbie mediamente addensate) indica un ambiente costiero, con la presenza di differenti ambienti deposizionali.

Una analisi correlata delle curve di livello ottenute per il tetto della formazione oligo-miocenica e delle stratigrafie disponibili ha permesso di evidenziare che laddove il Flysch Numidico si trova a quota superiore (a Nord del sistema dislocativo di cui sopra) il complesso calcarenitico (litofacies 2) poggia direttamente sui terreni oligo-miocenici, mentre dove si trova a maggiore profondità si rinvengono, a diretto contatto col substrato flyschoidale, sabbie limo-argillose grigiastre (litofacies 1) che a volte poggiano su un livello conglomeratico potente solo pochi metri. Al di sopra si rinvengono i terreni calcarenitici.

Sulla base delle stratigrafie disponibili è stata tracciata la linea che segna il confine tra la zona in cui le sabbie limo-argillose sono assenti (zona 1) e la zona in cui le stesse sono presenti (zona 2) (Fig. 10.2).

Trascurando, in prima approssimazione, la geometria dei vari depositi (spessori e giaciture degli strati) e le eterogeneità litologiche locali un modello a due strati (calcareniti e riporto) è idoneo a descrivere, in prima approssimazione, i terreni ricadenti nella zona 1, un modello a tre strati (sabbie limo-argillose, calcareniti e riporto) è necessario per descrivere i terreni ricadenti nella zona 2.

Poiché inoltre una porzione significativa del Centro Storico è interessata dai due antichi alvei del Papireto e del fiume del Maltempo un modello a quattro strati (sabbie limo-argillose, calcareniti, depositi alluvionali e riporto) è necessario per descrivere l'area interessata dai suddetti corsi d'acqua (zona 3), area che ricade internamente alla zona 2 (Fig. 10.2)

Sono state costruite le carte dei tetti delle due litofacies principali della copertura quaternaria.

Dall'esame della carta del tetto delle sabbie limo-argillose, è emerso che, quando presente, questa litofacies viene intercettata a profondità comprese tra -30m s.l.m. (in prossimità della Cala) e +18m (nell'estremo settore Sud-Ovest dell'area). Inoltre nel settore Orientale del Centro Storico viene intercettata a maggiore profondità che nel settore Occidentale, mostrando pertanto una generale immersione verso E.

Il tetto delle calcareniti viene rinvenuto a valori di profondità che variano tra -20m s.l.m. (in prossimità della Cala) e +35m s.l.m. (nel settore Sud-Occidentale del Centro Storico). In corrispondenza degli antichi alvei del Papireto e del fiume del Maltempo, a causa dell'azione erosiva esercitata dai due corsi d'acqua, viene rinvenuto a maggiore profondità (-31m s.l.m.).

Sono state costruite le carte degli spessori delle sabbie limo-argillose e dei depositi calcarenitici.

Non è stato possibile completare nel settore Sud-Orientale la carta degli spessori delle sabbie limo-argillose poiché nessuno dei sondaggi disponibili ne intercetta il letto. Nella zona ricoperta da dati lo spessore della suddetta litofacies varia da zero ad un massimo di 39m nel settore meridionale. Le variazioni più significative sono localizzate nell'area della Cala e nell'estremo settore occidentale del Centro Storico dove, su una distanza di 50m, si hanno variazioni di spessore anche di 20m (Fig. 10.3).

Lo spessore dei depositi calcarenitici varia tra 0 e 35m con i valori maggiori nei pressi di Via Volturmo (31m), all'incrocio di via Cavour e via Roma, (34m) e lungo il Papireto (Fig. 10.4).

Nel settore in cui sono assenti le sabbie limo-argillose le calcareniti riflettono l'andamento del tetto del Flysch Numidico con nette variazioni di spessore in corrispondenza delle rotture di pendenza del substrato.

Nell'area interessata dai due alvei antichi del Papireto e del fiume del Maltempo si riscontra una notevole variabilità dello spessore della copertura quaternaria determinata dall'azione erosiva dei corsi d'acqua. In alcuni punti, ricadenti nella regione di confluenza dei due paleoalvei, l'erosione totale della copertura quaternaria determina il contatto diretto tra Flysch Numidico e depositi alluvionali. Questi si presentano con spessore tra i 10 e i 25m raggiungendo i valori maggiori nella regione di confluenza dei due corsi d'acqua (Fig. 10.6d).

Utilizzando i circa 1000 punti quotati ricadenti sulle strade, riportati nella carta tecnica di Palermo in scala 1:1000, è stata costruita la carta delle isoipse del Centro Storico di Palermo (Fig. 10.5).

La topografia del tetto delle calcareniti che, a parte la zona dei paleoalvei, è abbastanza regolare, è ulteriormente livellata dallo strato di terreno di riporto presente su quasi tutta l'area cittadina per cui l'andamento del rilievo topografico appare regolare. Si possono comunque notare alcuni alti morfologici con distribuzione casuale. Le quote, che si incrementano da Est verso Ovest con una pendenza media del 2%, raggiungono l'altezza massima di 40m. Si mantengono invece all'incirca costanti per spostamenti in direzione perpendicolare all'asse di Corso Vittorio Emanuele.

La comparazione tra la carta del tetto dei depositi calcarenitici e la carta topografica ha consentito la ricostruzione della distribuzione dei terreni di riporto che nell'area sono prevalentemente costituiti da pezzi di calcarenite, blocchi di calcare e quarzareniti, cocci di laterizi tutti variamente frammisti a limi sabbiosi con sostanza organica. La presenza di terreni di riporto è da imputare all'azione antropica finalizzata al riempimento delle aree più depresse come quelle interessate dagli antichi alvei, le cave ubicate spesso lungo i fianchi degli stessi ed il fossato che, scavato a scopi difensivi, circondava l'antico nucleo della città. Anche l'avanzamento della linea di costa rientra in questo tipo di opere.

Il sollevamento dell'originario piano di campagna operato localmente dall'uomo spiega la presenza di zone isolate caratterizzate da grossi spessori di materiale di riporto. I sollevamenti più importanti si hanno in corrispondenza degli antichi bastioni che sorgevano lungo il muro che delimitava anticamente il Centro Storico.

Contrapposte a queste aree caratterizzate da grandi spessori di terreni di riporto si rinvengono all'interno del Centro storico zone caratterizzate da terreni di riporto di spessore inferiore a 2m. Queste ricadono nell'area compresa tra l'alveo del Papireto e l'alveo del fiume del Maltempo e nei quartieri dell'Albergheria, del Capo e della Loggia (Fig. 10.6c).

Dalle carte degli spessori ottenute per le sabbie limo-argillose e per i depositi calcarenitici sono state infine derivate delle carte a più bassa risoluzione (Fig. 10.6a, Fig. 10.6b) per individuare le zone all'interno delle quali il valore dello spessore di ciascuno dei due suddetti depositi si mantiene all'interno di uno specifico intervallo.

Dalla lettura delle carte ottenute emerge che i depositi calcarenitici

a) si presentano con spessore $> 30\text{m}$ solo in corrispondenza a zone di estensione molto limitata che ricadono esclusivamente nel settore settentrionale dell'area indagata. In tale settore nella porzione centrale si presentano prevalentemente con spessore interno all'intervallo 20-30m, in ambedue le porzioni estreme invece si presentano mediamente con spessori minori.

b) si presentano prevalentemente con spessore:

interno all'intervallo 10 -20m nel settore sud-occidentale;

interno all'intervallo 20 -30m nel settore sud-orientale;

c) si presentano con spessore dell'ordine dei metri nella zona limitrofa alla linea di costa e nella regione di confluenza dei due antichi alvei dove si rinviene anche una area di totale assenza. Inoltre emerge che in corrispondenza all'antico alveo del fiume del Maltempo e nella zona ad esso limitrofa sono mediamente molto più sottili che in corrispondenza al Papireto e nella zona ad esso limitrofa.

In merito alle sabbie limo-argillose emerge che:

a) sono del tutto assenti in buona parte del settore nord-occidentale nel quale, quando compaiono, si presentano con spessori molto piccoli (<10m), progressivamente crescenti man mano che ci si sposta verso il settore centrale;

b) si presentano con spessore entro i 20m nel settore nord-orientale;

c) si presentano con gli spessori maggiori nel settore sud-occidentale nel quale, in una zona di estensione molto ridotta che limita in basso l'area indagata, si presentano con spessore > di 30m

Dalle carte ottenute emerge inoltre che le aree interessate dai corsi interrati del Papireto e del Maltempo sono fra di loro, dal punto di vista litotecnico, molto differenti. Infatti nella prima si rinvencono mediamente sottili spessori di sabbie limo-argillose e consistenti spessori di calcareniti, nella seconda invece si rinvencono mediamente sottili spessori di calcareniti e consistenti spessori di sabbie limo-argillose. Inoltre nell'area interessata dal Papireto si rinvencono terreni di riporto con spessori maggiori di quelli presenti nell'area interessata dal fiume del Maltempo.

10.2 Stima della funzione di trasferimento delle principali strutture 1D riconosciute nell'area

L'insieme delle carte costruite ha permesso di riconoscere e localizzare individuare le principali strutture 1D presenti nell'area.

Mediante l'algoritmo di Haskell-Thompson è stata calcolata la funzione di trasferimento della velocità di spostamento rappresentativa della risposta dinamica fornita da ciascuna delle successioni litotecniche tipo individuate.

Pur avendo assunto valori medio buoni per i parametri geomeccanici si è ottenuto un significativo campo di variabilità della risposta dinamica fornita dalle differenti successioni litotecniche presenti nell'area.

Tale campo di variabilità è stato suddiviso in intervalli e sono state individuate le successioni tipo caratterizzate da un valore della funzione di trasferimento interno ad uno stesso intervallo.

Si è così ottenuta una prima suddivisione del Centro Storico della città di Palermo in zone diversificate per il contributo alla risposta dinamica derivante dalla struttura 1D presente (Fig. 10.7).

I valori minimi ottenuti per la risposta dinamica ricadono, come atteso, nella zona 1 che, caratterizzata dall'assenza di spessori consistenti di sabbie limo-argillose e di terreni di riporto, è la meno esposta ad effetti di amplificazione del moto. I valori massimi ottenuti ricadono in corrispondenza della zona 3 costituita dalle aree interessate dai due antichi alvei dove si rinvencono notevoli spessori sia di depositi alluvionali che di terreni di riporto, terreni fra i più idonei a generare effetti di amplificazione del moto.

I valori intermedi ricadono nella porzione della zona 2 non interessata dai due antichi alvei e peggiorano progressivamente muovendosi in direzione SE a causa del progressivo ispessimento in tale direzione delle sabbie limo-argillose.

I risultati ottenuti ben si accordano con la zonazione dell'area proposta in un recente lavoro, (Guidoboni e Mariotti, 1999), sulla base della distribuzione dei danni causati dai terremoti del 1 settembre 1726, del 5 marzo 1823 e del 15 gennaio 1940.

L'individuazione del patrimonio storico-monumentale ricadente all'interno di ciascuna delle zone definite ha fornito una preliminare ripartizione dello stesso in classi contraddistinte da un differente conseguente livello di esposizione al rischio derivante dalla struttura 1D su cui lo stesso insiste.

10.3 Sviluppo di una applicazione GIS per lo studio della influenza della geologia locale sul complessivo stato di dissesto dell'edificato soprastante

La ricerca durante il suo svolgimento si è diversificata determinando l'attivazione di una linea collaterale consistente nella progettazione di una applicazione GIS per l'archivio, l'analisi e l'elaborazione di dati multidisciplinari georeferenziati relativi all'intera area urbana palermitana.

Il programma realizzato presenta una architettura aperta che lo rende facilmente espandibile e dunque adattabile a ricerche ed applicazioni sul territorio concernenti tematiche differenti.

L'archivio, strutturato per accogliere un modello dei dati orientato, si compone di un archivio grafico per la registrazione di elementi grafici e uno relazionale per la registrazione di dati testuali. Il software di sviluppo dell'applicazione è Visual Basic 6 con il supporto di:

- TrueGridPro per la gestione dei dati in forma tabellare;
- DbCADdev per la gestione delle finestre grafiche;
- Access per la realizzazione della struttura del database relazionale.

Lo schema dell'applicazione GIS realizzata è riportato in Fig. 10.8.

Il sistema è stato utilizzato in uno studio effettuato in collaborazione con la Soprintendenza ed ha permesso di evidenziare, attraverso la sovrapposizione dei quadri fessurativi rilevati e georeferenziati sulle pareti delle navate laterali della Chiesa di San Michele Arcangelo e delle sottostanti sezioni geologiche elaborate e georeferenziate, una stretta correlazione tra un progressivo peggioramento spaziale delle caratteristiche litotecniche dei terreni ed un corrispondente aggravamento spaziale del quadro

fessurativo. Il progressivo aumento dello spessore dei depositi alluvionali e dei terreni di riporto muovendosi dalla zona absidale verso l'ingresso della chiesa e dalla navata destra verso la sinistra è correlabile al progressivo aumento della gravità del dissesto osservato nella medesima direzione; il gradino morfologico, riscontrato nella sezione litotecnica, appare correlabile, in un rapporto causa-effetto, al dissesto localizzato osservato tra la terza e la quarta fila di colonne (Fig. 10.9).

E' in corso, in collaborazione con la Soprintendenza, l'estensione di questo tipo di analisi ad una parte del patrimonio storico monumentale sia per una valutazione del potenziale di rischio sia per un eventuale riconoscimento di quadri fessurativi tipici di specifici sottostanti assetti geologici.

L'attivazione di questo approccio interdisciplinare, supportato dal GIS dedicato, è certamente uno dei risultati significativi della attività svolta.

BIBLIOGRAFIA

- Abate, B., Catalano, R., Renda, P. (1982): I monti di Palermo – In: Catalano R. & D'Argenio B. (Eds.) - Guida alla Geologia della Sicilia Occidentale. Guide Geologiche Regionali. – *Mem. Soc. Geol. It.*, **24** (Suppl. A), 43-48.
- Buccheri, G., (1984): Pteropods are climatic indicators in Quaternary sequences: a lower middle pleistocene sequence outcropping in cava Puleo (Ficarazzi, Palermo, Italy), *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, **45**, 75-86.
- Catalano, R., Abate, B., Renda, P. (1979): Carta geologica dei monti di Palermo e note illustrative - *Università di Palermo*.
- Catalano, R., D'argenio, B. (1982): Schema geologico della Sicilia - In: Catalano R. & D'Argenio B. (Eds.) - Guida alla Geologia della Sicilia Occidentale. Guide Geologiche Regionali. – *Mem. Soc. Geol. It.*, **24** (Suppl. A), 43-42.
- Catalano, R., Di Stefano, P., Sulli, A., Vitale, F.P., Infuso, S., Vail, P.R. (1998): Sequences and systems tracts calibrated by high-resolution bio-chronostratigraphy: the central mediterranean Plio-Pleistocene record. *SEPM Special Publ.* No **60**, 155-177.
- Catalano, R., Di Stefano, P., Vitale, F.P. (1995): Structural trends and paleogeography of the central and western Sicily belt: new insights. *Terra Nova*, **7**, 189-199.
- Di Stefano, E. (1998): I sedimenti marini Post Tirreniani del Centro Storico di Palermo *Atti del 79° Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana*, Vol. A, 419-420.
- Guidoboni, E., Mariotti, D. (1999): Gli effetti dei terremoti a Palermo in Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione del Centro Storico di Palermo, *Editori Laterza*.
- Liguori, V., Cusimano, G. (1978): Il sottosuolo della città di Palermo: caratterizzazione geologica del centro storico. *Boll. Soc. Natur.*, Napoli, **87**, 289-319.
- Ruggeri, G., Strovieri, R. (1975): Ricerche sul Siciliano di Palermo: le argille del fiume Oreto, *Boll. Soc. Geol. It.*, **94**, 1613-1622.
- Todaro, P. (1995): Palermo Geologia del Centro Storico Atlante geologico stratigrafico- *Dario Flaccovio Editore*.

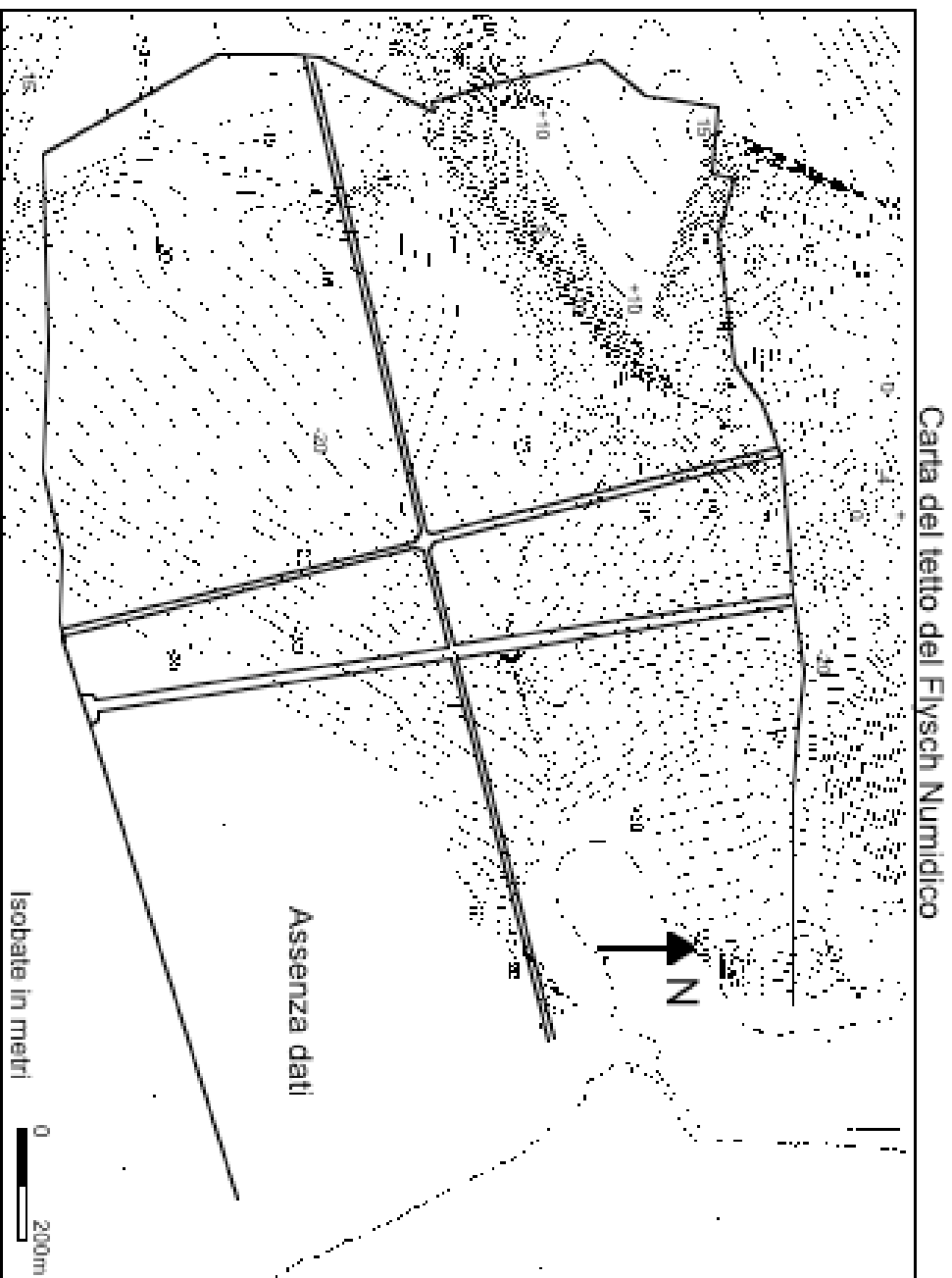


Fig. 10.1 - Carta del tetto del Fylsch Numidico.

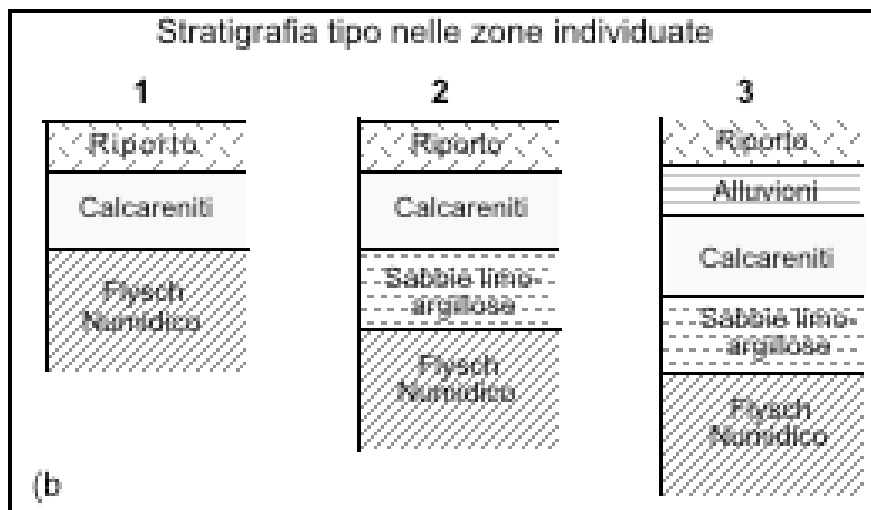
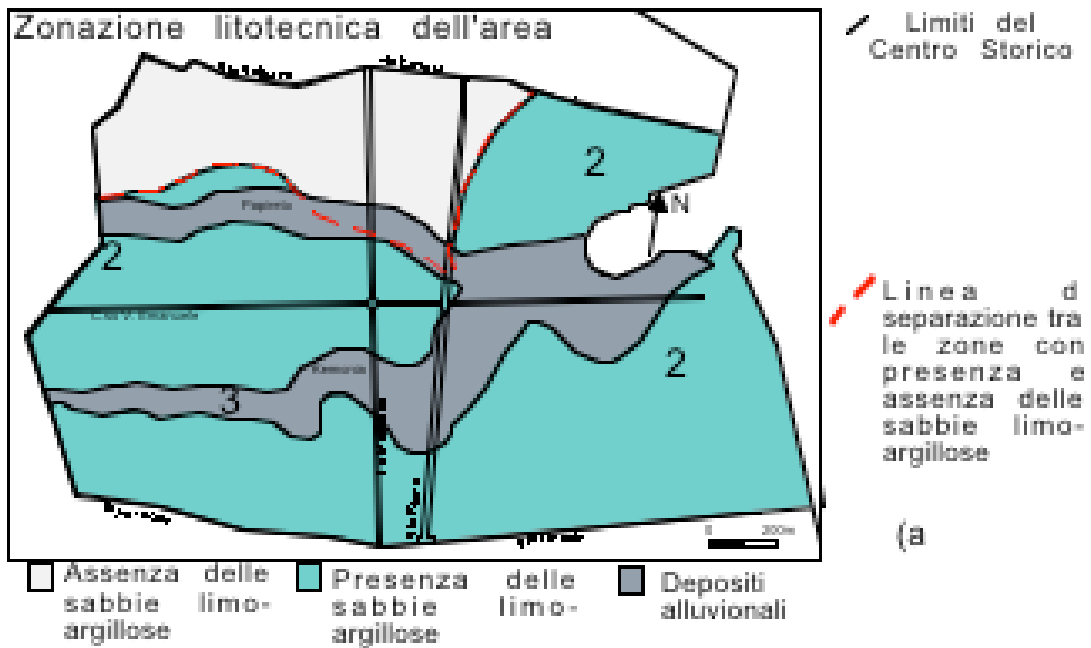


Fig. 10.2 - a) Suddivisione del Centro Storico di Palermo in zone caratterizzate da omogeneità litotecnica; b) modello della successione litotecnica tipo in ciascuna delle zone individuate.

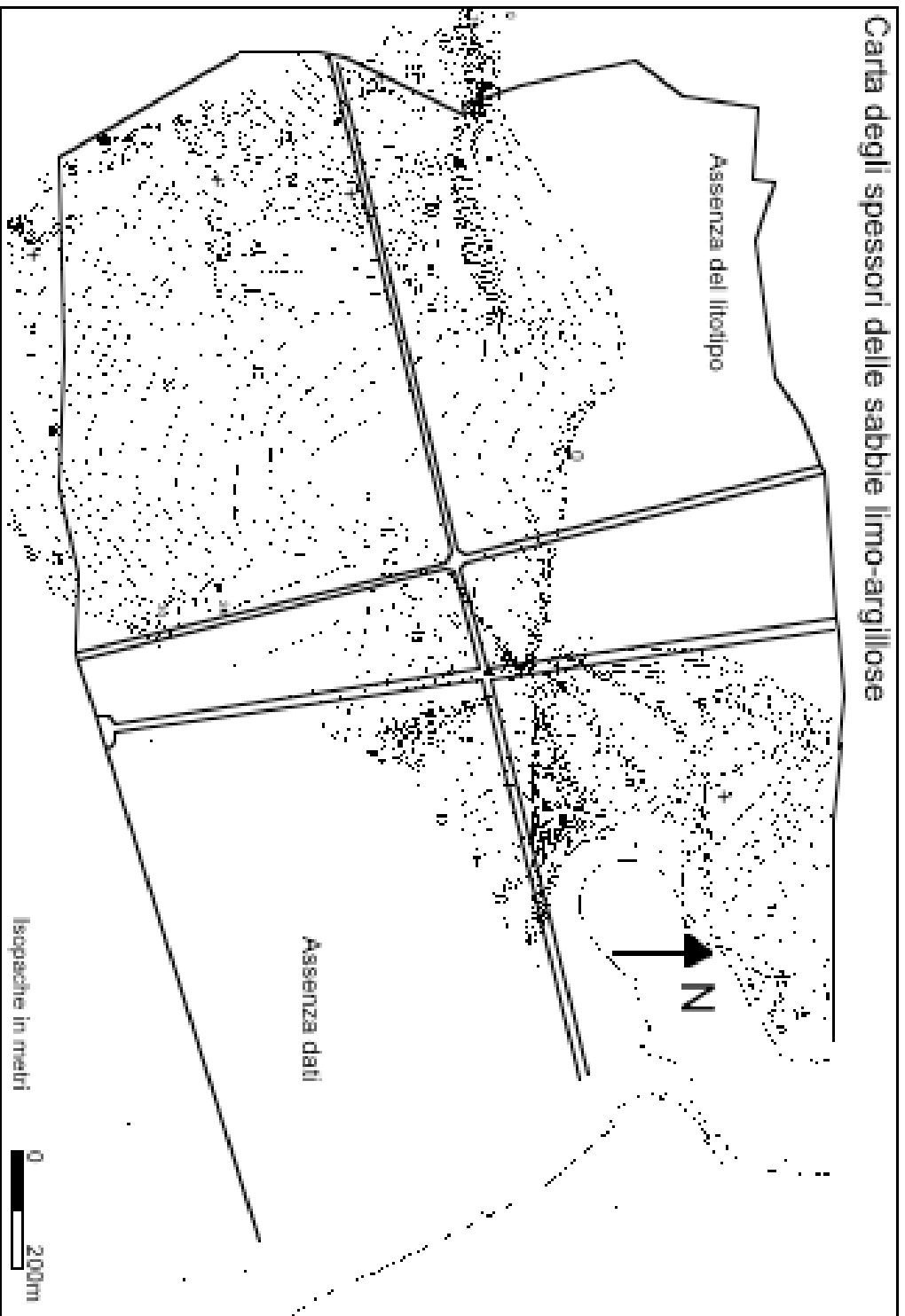


Fig. 10.3 - Carta degli spessori delle sabbie limo-argillose.
190



Fig. 10.4 - Carta degli spessori delle calcareniti.



Fig. 10.5 - Carta topografica realizzata con i punti quotati sul piano stradale.
192

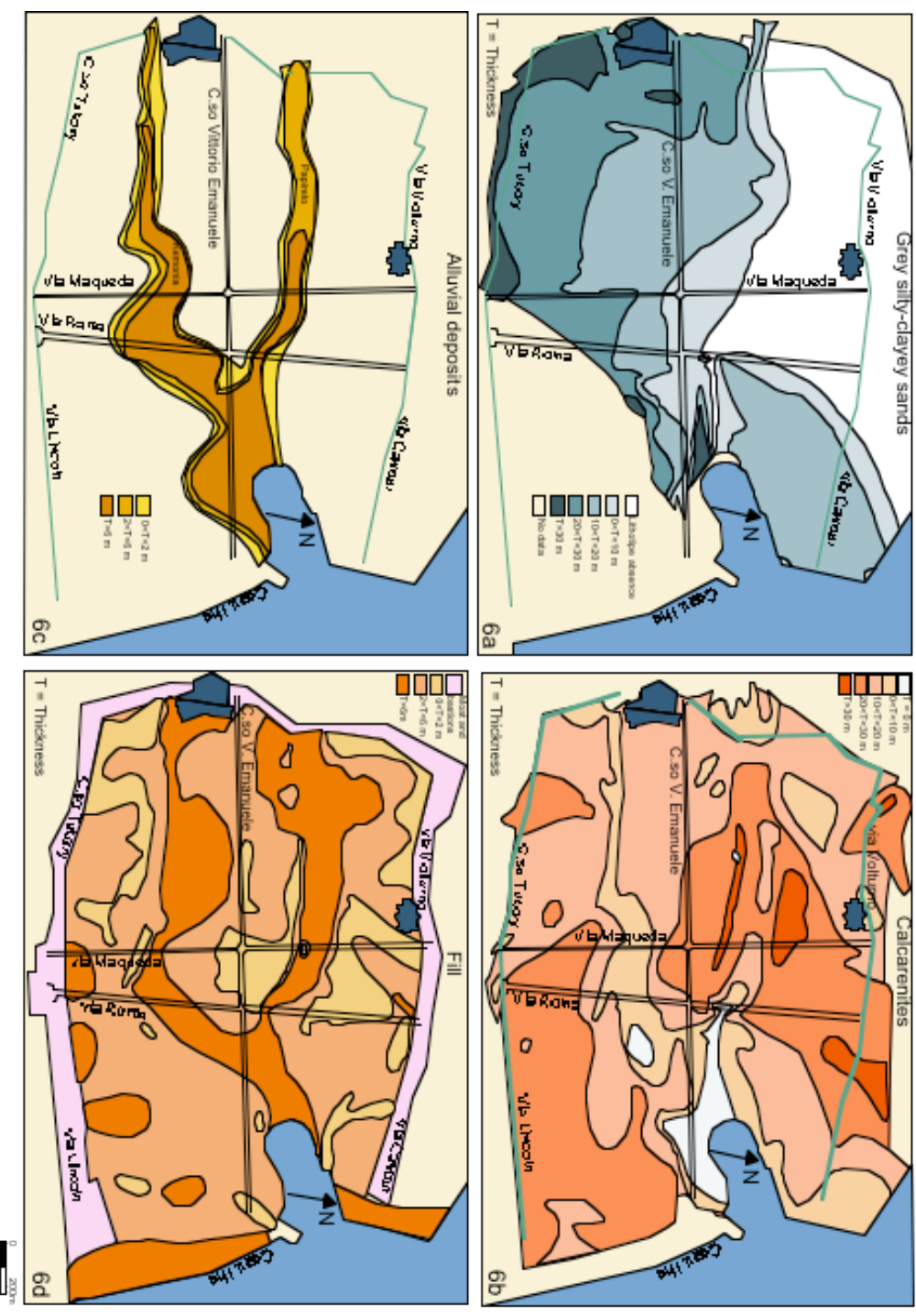


Fig. 10.6 - Carta degli spessori medi per i principali litotipi.

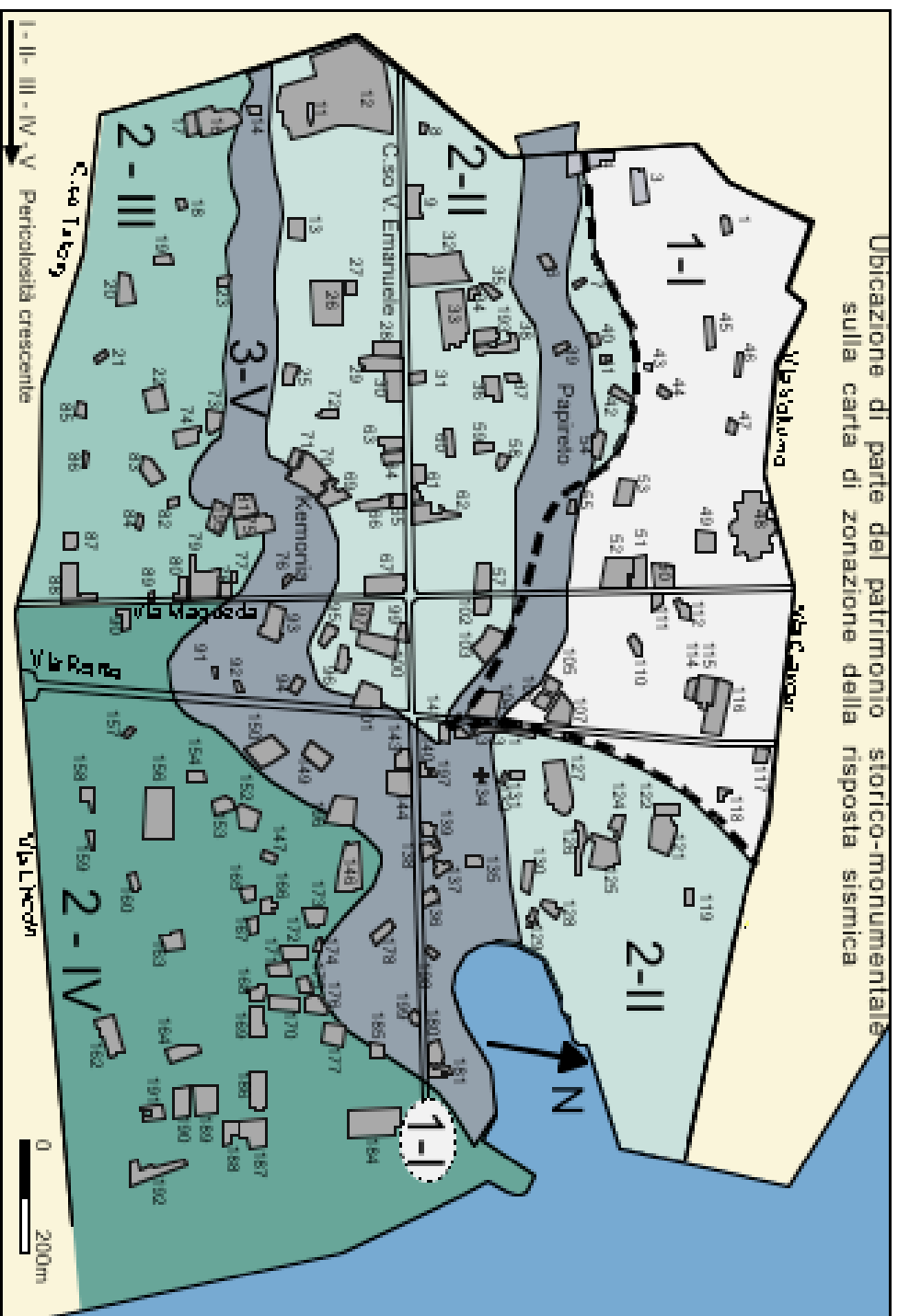


Fig. 10.7 - Carta di zonazione della risposta dinamica con parte del patrimonio storico monumentale protettato.

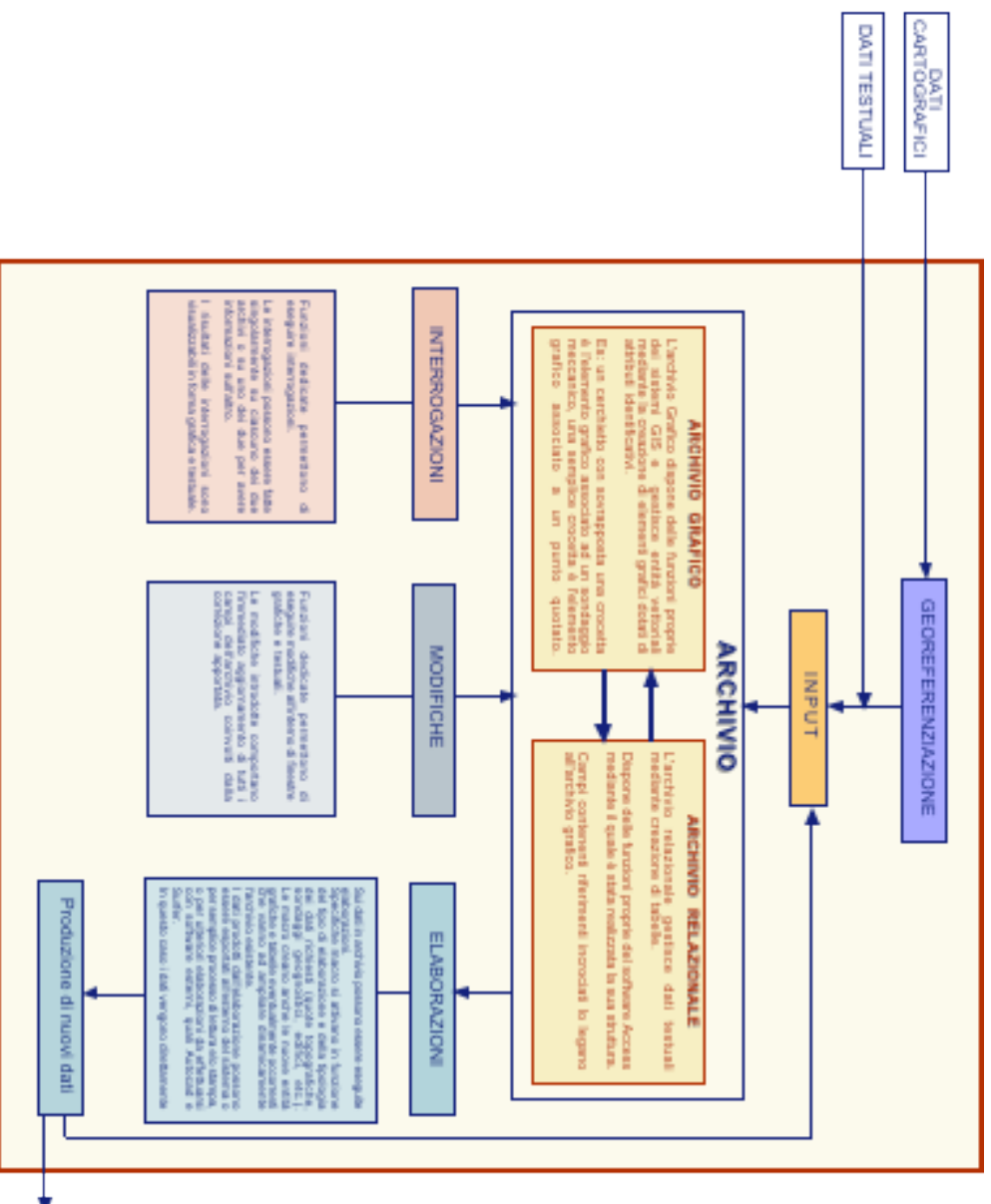


Fig. 10.8 - Schema dell'applicazione GIS progettata.

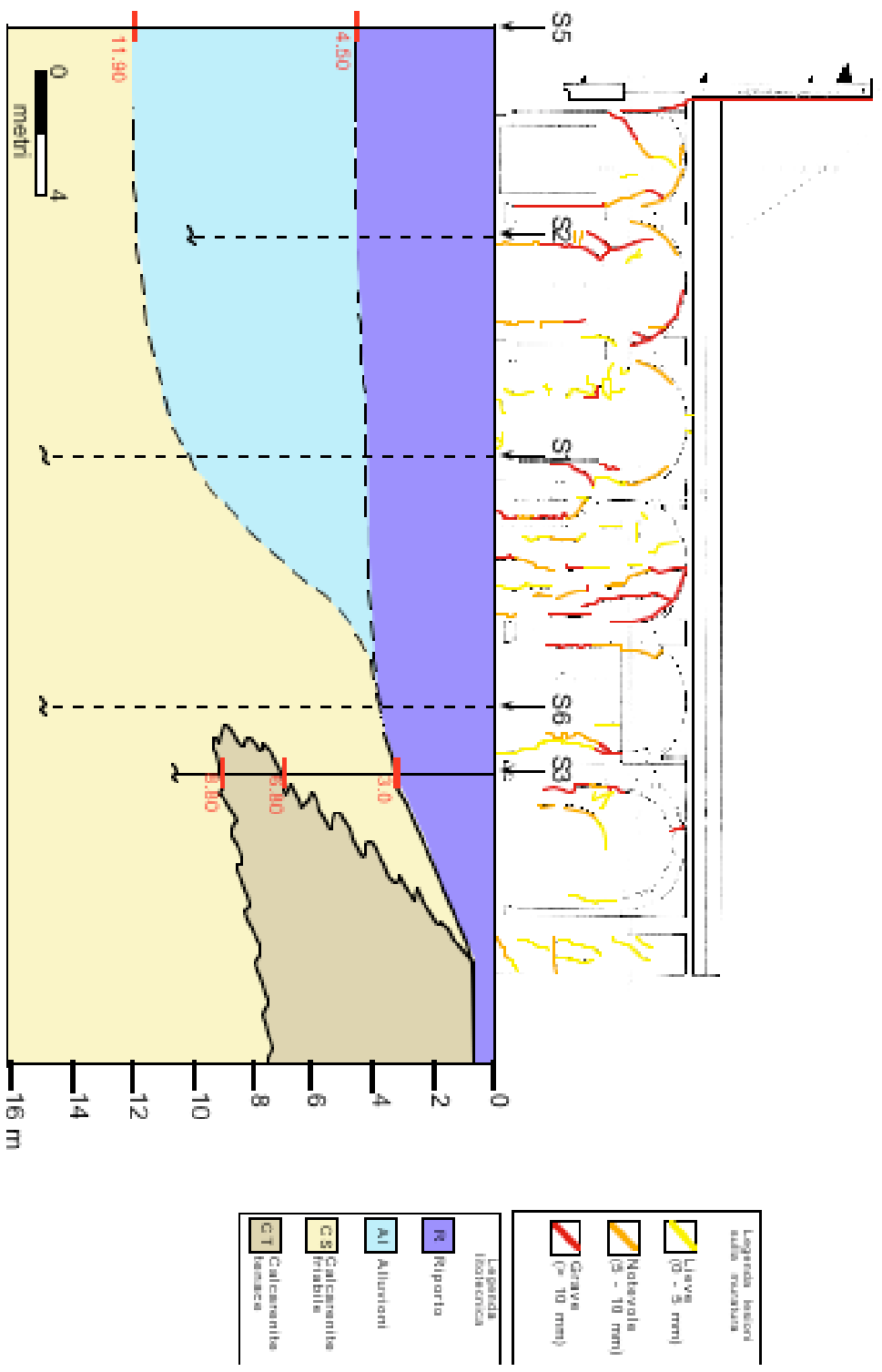


Fig. 10.9 - Parete navata laterale sinistra della Chiesa di S.Michele Arcangelo: sovrapposizione tra il quadro fessurativo rilevato e le sezioni litotecniche elaborate.