



COMUNE DI PALERMO
AREA DEI SERVIZI ALLA CITTA'
SERVIZIO AMBIENTE
MARE E COSTE

PO FESR SICILIA 2014/2020
AZIONE 6.5.1



ZSC ITA020012 Valle del Fiume Oreto
Sentiero natura ed interventi manutentivi

Progetto di Fattibilità Tecnico Economica
Marzo 2019

Studi geologici

Il Sindaco: prof.on. Leoluca Orlando

L'Assessore: dott. Giusto Catania

Il Capo Area: dott. Domenico Musacchia

Il Dirigente: avv. Francesco Fiorino

Il R.U.P.: funz.tec.architetto Giovanni Sarta

Staff del RUP: Agronomo Antonino La Barbera, funz.
tecn.arch.. Marcantonio Virgadamo, esp. di prog.
Giuseppe Lazzara

Progettazione:
funz.tec.architetto Giuseppina Liuzzo (coordinatore)

Funz. tecn. arch. Achille Vitale, Geologo Gabriele Sapiro,
biologo Claudio Severino, esp. di prog. arch. Dimitrios
Katsireas



STUDI GEOLOGICI

Si riportano a seguire:

- Relazione di Pietro Todaro – Le architetture d'acqua dell'Oreto
- Relazione geologica allegata alla Proposta del Piano Rifiuti – Piana di Palermo e Fiume Oreto
- Relazione di A. Contino “Analisi stratigrafico geotecnica del settore meridionale della città di Palermo”

Convegno WWF – Palermo
CONOSCIAMO IL FIUME ORETO E LA SUA VALLE

Le architetture d'acqua dell'Oreto: adduzioni idriche, mulini e cartiere

Pietro Todaro

L'Oreto è stato un fiume sostanzialmente dimenticato dai palermitani e, purtroppo, continua a esserlo dal punto di vista culturale, sociale e politico, restando in realtà estraneo e passivo alla vita dei cittadini che non ne ha alcuna fruizione diretta, a differenza di tutte le città storiche europee e non solo, che sui corsi d'acqua si affacciano. Il rapporto dell'Oreto con la città non è stato mai diretto e primario ma marginale, nonostante il suo valore naturalistico, ambientale e di risorsa idrica irrigua, potabile ed energetica. Il primo agglomerato urbano punico della città si è sviluppato non sulla foce del fiume, come sarebbe stato naturale attenderselo dal punto di vista idrografico e orografico, ma allo sbocco di un vicino modesto corso d'acqua a regime torrentizio privo di un nome antico, cui si darà solo nel medioevo la denominazione di "Fiume d'inverno" o del "Maltempo", poi Kemonia. La canalizzazione di una zona depressa e paludosa, che prendeva il nome dal papiro che vi cresceva spontaneo, ha consentito in seguito la creazione artificiale di un altro rivo, il Papireto, che drenava le acque sino al piccolo approdo dell'attuale Cala dando maggiore sicurezza e difendibilità all'entroterra, destinato così ad accogliere la Panormos dell'antichità. La città da allora, dopo i primi mille anni di "città murata", si è sviluppata a macchia di leopardo e in tutte le direzioni tranne che verso la valle dell'Oreto, che ha raggiunto solamente nel XX secolo con i nuovi quartieri residenziali costruiti dopo la seconda guerra mondiale. Dimenticata anche dagli urbanisti dell'Ottocento che predilessero l'espansione Nord, verso la piana dei Colli e Mondello, oggi la valle dell'Oreto attende il "consulto" innovativo dei nuovi urbanisti impegnati nell'aggiornamento del Piano Regolatore della città che ci auguriamo possa definitivamente inserire la riqualificazione e fruizione della valle con la realizzazione dell'atteso Parco fluviale urbano. Una buona partenza progettuale potrebbe essere lo sviluppo esecutivo dello studio di fattibilità "Parco del fiume Oreto" predisposto dal comune di Palermo (Ecosfera, Cras) finalizzato alla tutela, al recupero ed alla valorizzazione/riqualificazione ambientale del sistema fluviale.

Il territorio compreso tra la cinta delle mura cinquecentesche meridionali e il Fiume Oreto è stato fino alla fine del XVIII secolo abbandonato e incolto per la presenza di estese cave di pietra sotterranee del tipo “rotonde a imbuto” e lunghe gallerie latomizzate a scacchiera che raggiungevano la sponda settentrionale della valle, dalla Guadagna a Santo Spirito e oltre. Non a caso nel 1787, dopo il bando del viceré di Sicilia Don Francesco D'Aquino che vietava l'uso di seppellire i morti nelle chiese urbane, fu scelta quest'area per l'impianto del primo cimitero pubblico della città nei pressi dell'antica chiesa di S. Spirito, sulla sponda sinistra dell'Oreto, sfruttando proprio per la sepoltura le cave sotterranee che si adattarono facilmente all'uso (il sito è visitabile).

Il Fiume Oreto (Figg.1-2 -3), caratterizzato da un prevalente regime torrentizio, nella zona pianeggiante della sua foce è stato oggetto nei periodi invernali di piene impetuose e esondazioni, ampiamente documentate dai cronisti del tempo, come la testimonianza del naturalista palermitano Domenico Scinà, il quale riferisce che nell'ottobre del 1772 il fiume in piena distrusse il Ponte di S. Erasmo entrò in città da Porta di Termini spingendosi fino a Piazza S.Anna, dove raggiunse l'altezza di otto canne (2,50m circa).

La frequenza e le intensità di tali fenomeni hanno certamente contribuito a ostacolare nel tempo una stabile urbanizzazione di edilizia abitativa del basso Oreto, se non quella limitata a modeste costruzioni agricole e di attività produttive legate all'abbondanza, seppur impulsiva, delle sue acque, quali i mulini con canali in muratura su archi, gli *stazzoni*, opifici per la produzione dei laterizi e, anche, le cartiere che trovavano nel fiume l'acqua necessaria alle lavorazioni. Numerosi erano infine i sistemi cunicolari, “pratiche” d’acqua della tradizione palermitana per la creazione di sorgenti artificiali a spese delle falde idriche profonde, che si rifanno ai modelli persiani dei *qanat* e degli autoctoni “ingruttati” che captano l’acqua di falda, ma non la portano in superficie.

Nella zona Aquino-Molara, tra le alluvioni dell’Oreto si aprirono nel passato le cave di “pietra mola”, resistentissima quarzarenite, a grossi massi, del Flysch Numidico, lavorata per le ruote-macine dei mulini (fig.4). Numerose pietre mole sono state altrettanto restituite dall’erosione del letto dell’Oreto nel suo tratto finale, ancora in bella vista lungo la sua riva sulla destra orografica.

L'esondazione del 1681 descritta dallo storico Vincenzo Auria ci parla dei danni notevoli arrecati al territorio, che devastarono orti e campagne e portarono alla distruzione dei numerosi mulini impiantati lungo le sue rive. Nel X secolo il geografo-viaggiatore Ibn Hawqal nel suo “Viaggio in Sicilia” così annotava: “Scorre a mezzogiorno

un grande e grosso fiume che s'appella Wadi 'Abbas, sul quale sono piantati molti mulini; ma l'acqua di esso non si adopera all'irrigazione degli orti né dei giardini". Sembra evidente che le acque dell'Oreto non erano utilizzate per l'uso irriguo ma esclusivamente impiegate per muovere le ruote dei mulini, impiantati nei punti di sicurezza rispetto le esondazioni.

Un altro aspetto peculiare del basso Oreto era dovuto alla presenza di estese zone paludose, i cosiddetti "Pantani di Cascino", ubicati prevalentemente tra il Ponte dell'Ammiraglio e la costa, che rendevano malsana la zona costiera e incoltivabili i terreni, anche se era un luogo dove si potevano pescare le anguille e abbondanti pesci d'acqua dolce. Un fenomeno che interessava zone depresse abbandonate dal cosiddetto "salto del meandro" dell'Oreto, in cui affiorava un substrato impermeabile costituito dalle "argille dell'Oreto" (meglio note ai geologi come "Argille Azzurre" del Pleistocene). Solamente verso la metà del XVIII secolo queste aree paludose sarebbero state prosciugate con opere di canalizzazione e drenaggio che consentirono il regolare deflusso delle acque stagnanti verso la foce.

Poco a monte del Piano dello Spirito Santo (cimitero di S. Orsola) i fianchi dell'Oreto si fanno improvvisamente ripidi e scoscesi a causa di una serie di faglie ortogonali che hanno dislocato la formazione calcarenitica pleistocenica del *terrazzo marino* palermitano, conformando profonde anse a meandri sub-rettangolari, scavati nella roccia. Ancora un ostacolo di natura geologica e orografica che ha probabilmente preservato l'area dall'espansione urbanistica *extra moenia* verso sud.

La sua elevata pericolosità idrogeologica è rimasta nel tempo anche dopo la definitiva rettificazione e canalizzazione ottocentesca che ha privato della sua imponenza idraulica i grandi archi del medievale Ponte dell'Ammiraglio, rimasto a secco, un monumento sradicato e avulso dal suo originario ambiente.

Il recupero e la riqualificazione del basso Oreto per una sua sistemazione a Parco urbano, oggetto di numerosi studi e ricerche universitarie, devono superare gli ostacoli di vincolo idrogeologico di massimo rischio idraulico esondativo posti dal PAI (decreto n.298/41 04.07.2000) che ha classificato quest'area come R3 e R4 (rischio elevato e molto elevato) in cui gli interventi progettuali sull'esistente, di sistemazione-difesa e del tempo libero (i soli consentiti) devono essere sottoposti a verifica idraulica e idrogeologica di compatibilità tra gli interventi e il pericolo.

E' documentata l'esistenza (da verificare al presente) della Grotta e sorgente della Torre dei Diavoli di proprietà comunale, giusto accanto alla chiesa di S. Maria della Guadagna (Reale chiesa Carolina di Nostra Signora della Guadagna) sulla sponda destra del fiume, con adduzione omonima, che erogava circa 20 l/s e alimentava le fontane marmoree di Villa Giulia e l'Orto Botanico della Città.

Le adduzioni idriche sotterranee del basso Oreto

A Palermo i sistemi d'acqua cunicolari che in parte si rifanno al modello persiano dei *qanat* ebbero grande diffusione in tutta la pianura soprattutto a partire del XVI secolo per iniziativa dei Padri Gesuiti e grazie alle favorevoli condizioni idrogeologiche del territorio ricco di acque sotterranee e povero di sorgenti. Il *qanat* è uno strano sistema idraulico ibrido, di sorgente e acquedotto nello stesso tempo, capace di drenare, captare e trasportare l'acqua fino in superficie dalle profonde falde freatiche, senza l'utilizzo di energia meccanica, ma a spese della sola energia della gravità, creando pertanto sorgenti artificiali. Gli *ingrottati* palermitani, versione autoctona dei *qanat*, si basano sullo stesso principio ma non portano l'acqua in superficie, ma poco al di sotto, per limiti di pendenza e di distanza della proprietà terriera, potenziando così la riserva e portata idrica dei pozzi.

- 1) Ingrottato sorgentizio Ambleri (< arabo : Ayn Ibileri) nella proprietà di Villagrazia di Villa Naselli Agliata, valorizzato da una originalissima architettura in muratura cunicolare di drenaggio e trasporto dell'acqua, arricchita da una "camera dello scirocco" sormontata da una torre del vento "u toccu" e di una galleria conviviale "u passiaturi", simile nel funzionamento alle Hos Khanèh persiane. Le opere di presa risalirebbero al XV secolo.
- 2) Ingrottato "Acqua Naselli Gela" , un cunicolo lungo un chilometro circa e profondo da 10 a 20m con accesso dal ricettacolo posto in via Villagrazia n.125.
- 3) Ingrottato "Acqua Migliore-Ammirata" il cui ricettacolo è in via Grazia, contrada Piede di Carruba. Il cunicolo di lunghezza 500m è praticabile per circa la metà e si approfondisce fino al livello della falda idrica a 36m dal piano di campagna.
- 4) Ingrottato Bova in via Olio di Lino (fondo Cavarretta). Il pozzo di accesso profondo circa 3m, rivestito di "pietra D'Aspra" dorata, è in un agrumeto di fondo Cavarretta.

- 5) Qanat Maurigi in contrada Villagrazia, ubicato poco a monte della storica polveriera militare. Il cunicolo servito da 12 “*puzzi r'annittari e ri luci*” è profondo fino a 25m ed è lungo circa un chilometro. Sono spettacolari alcuni tratti rivestiti interamente da calcite e aragonite bianca, prodotta dallo stillicidio di acque carbonatiche.
- 6) Ingrottato Ciaccio-Martinez in contrada Pagliarelli, presso i resti del mulino ad acqua Stroncone. Il cunicolo corre lungo la riva in sinistra orografica dell’Oreto, in direzione parallela alla sponda del fiume che al ricettacolo d’accesso devia a 90° e dopo un percorso di circa 2 Km raggiunge il ricettacolo di via Porcelli.
- 7) Ingrottato Ferreri. Il condotto corre sulla sponda sinistra dell’Oreto in contrada S. Spirito. E’ profondo circa 5m dal piano di accesso con ingresso munito di due porte di ferro. Le acque sono convogliate in un cunicolo in muratura che procede per un primo tratto lungo l’Oreto per poi continuare a fondo cieco, deviando ortogonalmente, nella roccia calcarenitica che costituisce l’ossatura del Piano del Buon Pensiero dove c’è il ricettacolo per la distribuzione (Figg.5-6-7).
- 8) Sorgente Lo Vecchio. Si trova sulla sponda destra della valle, in contrada Falsomiele, presso i resti del mulino delle Carte. Attualmente le acque non raggiungono il vecchio acquedotto e si disperdono verso il letto del fiume.
- 9) Qanat di via Palmerino:
- 10) Qanat di via Majo

L’Oreto come risorsa idraulica

La risorsa Oreto oltre che irrigua e potabile si è manifestata nel suo periodo storico anche per l’aspetto energetico fornendo l’energia idraulica necessaria per alcune attività produttive di base locali quali :

1. I mulini ad acqua per la macina del grano dei cereali, del sale e, anche, delle polveri da sparo, il cui “salto d’acqua” o meglio “a scaffa” si creava artificialmente con canali in muratura su archi che prendevano l’acqua dell’Oreto a monte per la spinta motoria sulla ruota pale (Fig. 8);
2. Gli *stazzoni*, opifici per la produzione dei laterizi, tegole-canali, catusi e mattoni che trovavano nel fiume le due materie prime : l’acqua e l’argilla necessaria alla lavorazione;

3. Le cartiere di Aquino (borgo di Monreale) erano note come quelle di Amalfi e Venezia, in esse si produceva la carta grazie alle ruote mosse dalle acque canalizzate della valle dell'Oreto che mettevano in moto gli ingranaggi di pestaggio degli stracci “a piedi di legno”, oltre a quelle necessarie alla “setacciatura” dei fogli (fig. 9);
4. Analogamente operarono fino al XVIII secolo i “critari” che dalla stessa argilla e acqua ricavavano la creta per la produzione di ceramica a prevalente uso domestico. Una grande cava di argilla era in attività fino agli inizi del secolo scorso proprio nell’ansa sotto l’attuale ponte di via Oreto, oggi sede di un grande complesso edilizio;
5. Un’altra macchina ad acqua del palermitano era il “paratore” un marchingegno mosso da una ruota a pale utilizzato per pestare, battere ripetutamente e ammorbidente i tessuti usciti dal telaio. Secondo lo studioso Di Salvo sono stati rinvenuti a Palermo 11 paratori, spesso attigui ai mulini, ma non cita l’ubicazione;
6. Un curioso sistema di sollevamento dell’acqua dell’Oreto fino a Porta di Termini è riportato in un progetto ritrovato nel fondo “palermitano” dell’Archivio di Stato di Torino. Il documento descrive l’installazione di quattro norie : “come far montare l’acqua della Bealezza che fa girare le pale del mulino della Guadagna (fig. 10) fino al Piano del Cimitero e da qui alla fabbrica della Polvere (da sparо) che si ritrova giusto fuori della Porta di termini”. Il disegno allegato riporta la pianta di quattro *senie* (come le norie dei pozzi) che operando in batteria sarebbero riuscite a sollevare complessivamente l’acqua di 164 palmi siciliani, pari a circa 44m fino alle vasche della vicina *fabbrica della polvere* per azionarvi quattro piste.

I mulini ad acqua

Nel ‘300 Palermo contava 29 mulini ad acqua , documentati, di cui 25 direttamente sull’Oreto e sui piccoli corsi del suo bacino e quattro intorno alle mura cittadine a cui dovevano corrispondere in proporzione circa 100.000 abitanti. Essi sono: Mulino di Lu Paraturi sull’Oreto;Il mulino di Bonagia;Il mulino di S. Giuseppe a Boccadifalco;Il mulino della Guadagna sull’Oreto (1413);Due mulini della Magione dei Teutonici presso il fiume Oreto;Il mulino della Cartiera sull’Oreto;Il mulino di Santo Spirito di Altofonte.

Nel 1750 è documentata l'esistenza della *maestranza* dei mugnai palermitani che gestivano ben 55 mulini (quanti sono i resti sopravvissuti?), indicati nella Carta Idrografica del 1890, che si riportano di seguito:

A) Fiume Grande

1. Molino di S. Pancrazio;
2. Molino della Neve;
3. Molino di S. Caterina;
4. Molino Nuovo;
5. Molino del Ponte di Corleone;
6. Molino delle Carte;
7. Molino di Messineo;
8. Molino del Carbone;
9. Molino di San Franceschello;
10. Molino del Ponte Rotto;
11. Molino di Santo Spirito;
12. Molino della Guadagna;
13. Molino "ri 'mezzo";
14. Molino Prima;
15. Molino del Ponte della Miraglia;

B) Mare Dolce

16. Molino di San Cristofaro;
17. Molino della Scaffa;
18. Molino delle pergole;
19. Molino di San Filippo;
20. Molino dell'Acqua delli Corsari;
21. Molino della Favara;

C) Corso del canale del Gabriele

22. Molino della Voglia;
23. Molino di Boccadifalco;
24. Molino della Taglia;
25. Molino della Pomare;
26. Molino dell'Altarello;
27. Molino di Lionello;

28. Molino di Lionello;
29. Molino di Santa Cristina;
30. Molino di Landino;
31. Molino della Volpe;
32. Molino del Paradiso;
33. Molino di Crapanzano;
34. Molino di gallo;
35. Molino del Sale;
36. Molino della Ranteria;
37. Molino della Madonna dell'Orto;

D) Ambleri

38. Molino di Martinetto;
39. Molino di Zoppetta;
40. Molino del Rosario;
41. Molino del Crocifisso;
42. Molino del Molinello:
43. Molino Novo;
44. Molino del Marrogiaro;
45. Molino del Paratore

E) Acquedotto del Sambucia

46. Molino di Salinitro;
47. Molino Novo;
48. Molino della Torre;
49. Molino Grande;
50. Molino di Platamonello;
51. Molino del Santo Officio;
52. Molino di Ferrara e Ferrarello;
53. Molino del Pigno;
54. Molino di Carozzo e Carozzello;
55. Molino Aiutamicristo.

Il mulino con il salto d'acqua maggiore, superiore a 15 m, è quello di S. Giuseppe a Boccadifalco, ancora ben visibile dall'abitato. Sorprendentemente il salto d'acqua minore per un mulino era pari a soli 2m e riguardava il mulino Palombaio sul fiume

Mazzaro di Trapani. Generalmente i mulini del palermitano avevano "scaffe" di circa 10m di altezza, tali che potevano garantire il movimento di macine di "pietra mola" di medio-piccole dimensioni.

Con l'introduzione dei motori a vapore, a metà del XIX secolo, i mulini ad acqua entrano in crisi e per loro inizia un declino costante fino alla loro definitiva scomparsa agli inizi del'900. La totalità di quelli urbani è stata demolita dall'espansione urbanistica e di loro restano a volte i toponimi stradali o scavando si può ritrovare qualche "mola" abbandonata dal valore di archeologia dell'acqua. Nell'agro palermitano si ritrovano ancora molti ruderii che andrebbero censiti e proposti per un loro restauro strutturale e per l'eventuale recupero dell'impianto superstite.

Le cartiere

Un'altra applicazione della ruota ad acqua verticale era costituita dalle cartiere (Fig.9) che fornivano la carta soprattutto per i documenti burocratici, per gli usi commerciali e culturali. In contrada Aquino-Molara del comune di Monreale sulla sponda sinistra dell'Oreto, si trovano i resti di tre cartiere che sfruttavano per il loro funzionamento l'acquedotto ad archi e muratura Sabucia ancora ben visibile nel baglio della Cartiera Grande, oggi inserita in un complesso alberghiero : 1)La Cartiera Grande; 2)La cartiera d'Aquino; 3)La cartiera del Maglio.

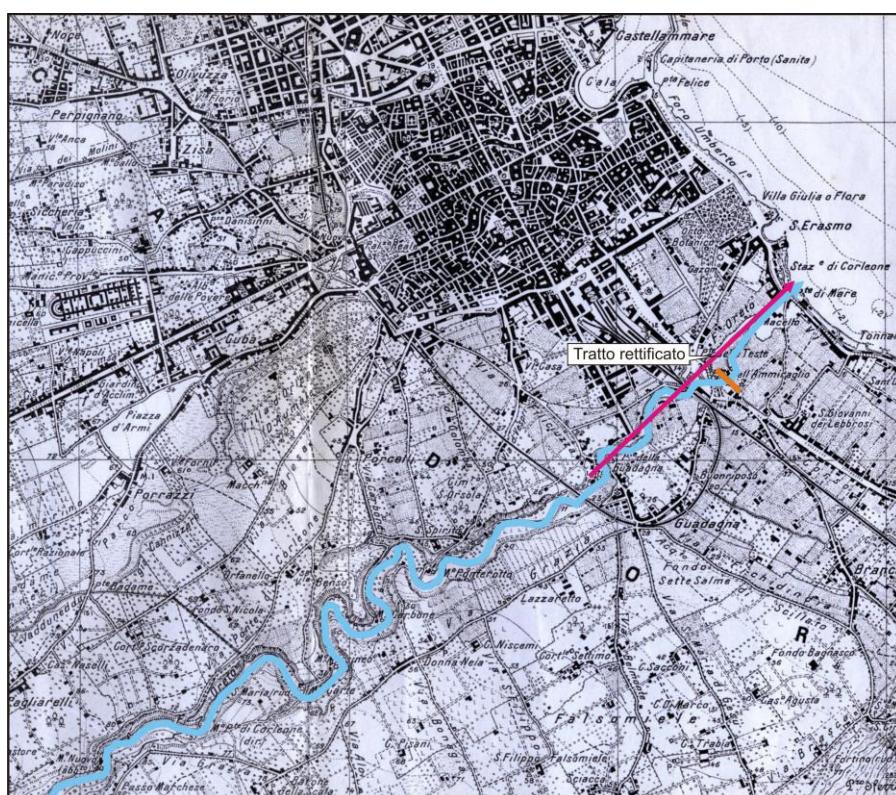


Fig. 1

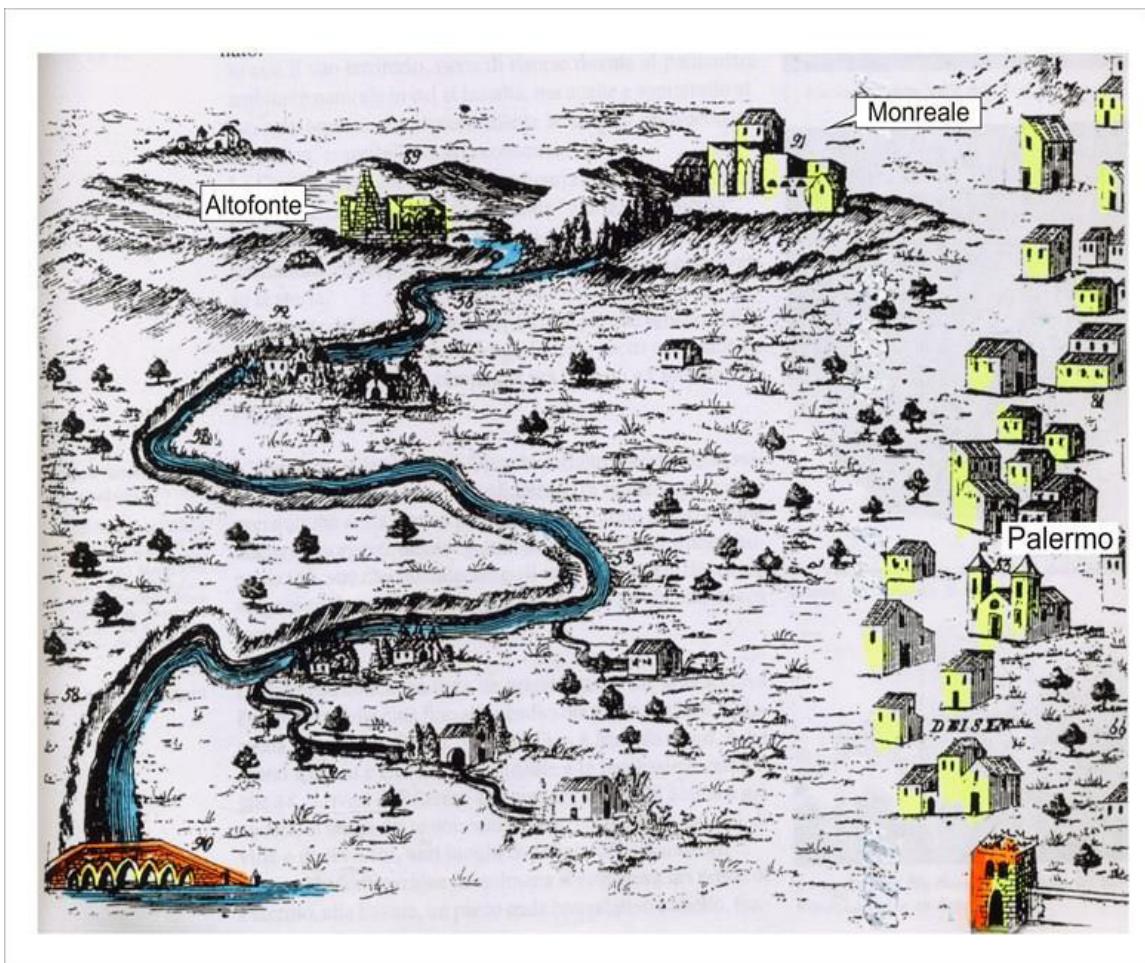


Fig.2

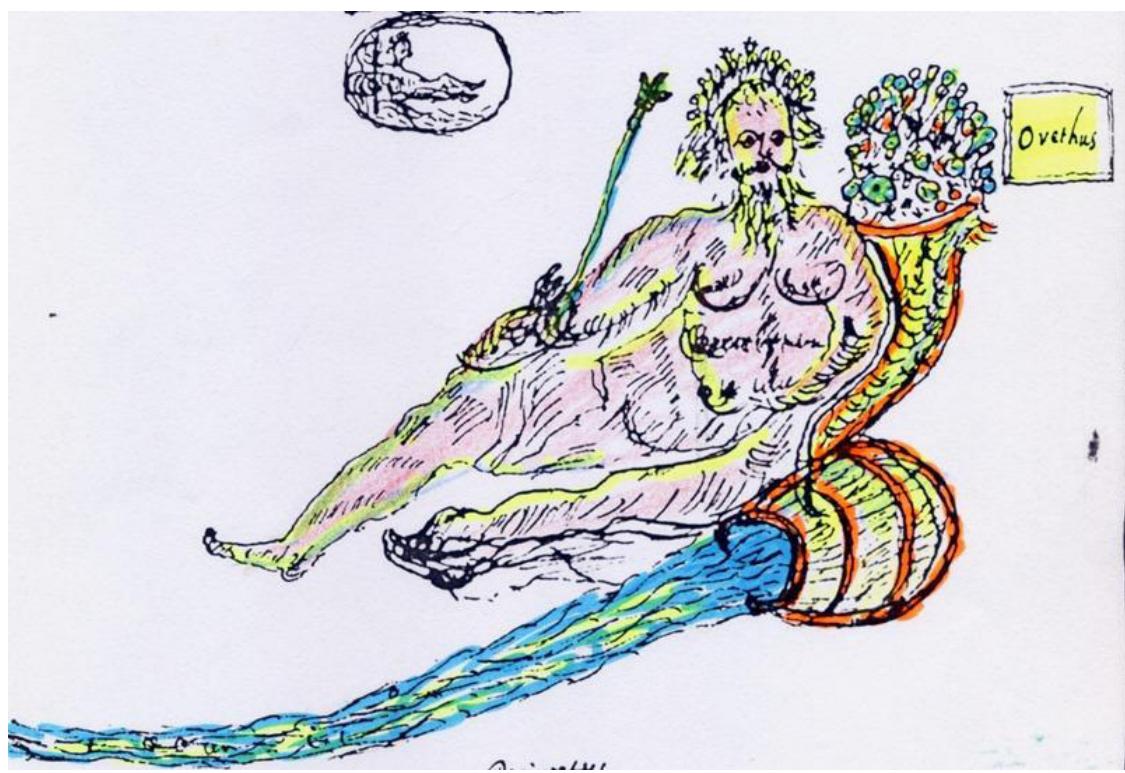


Fig.3



Fig. 4



Fig. 5

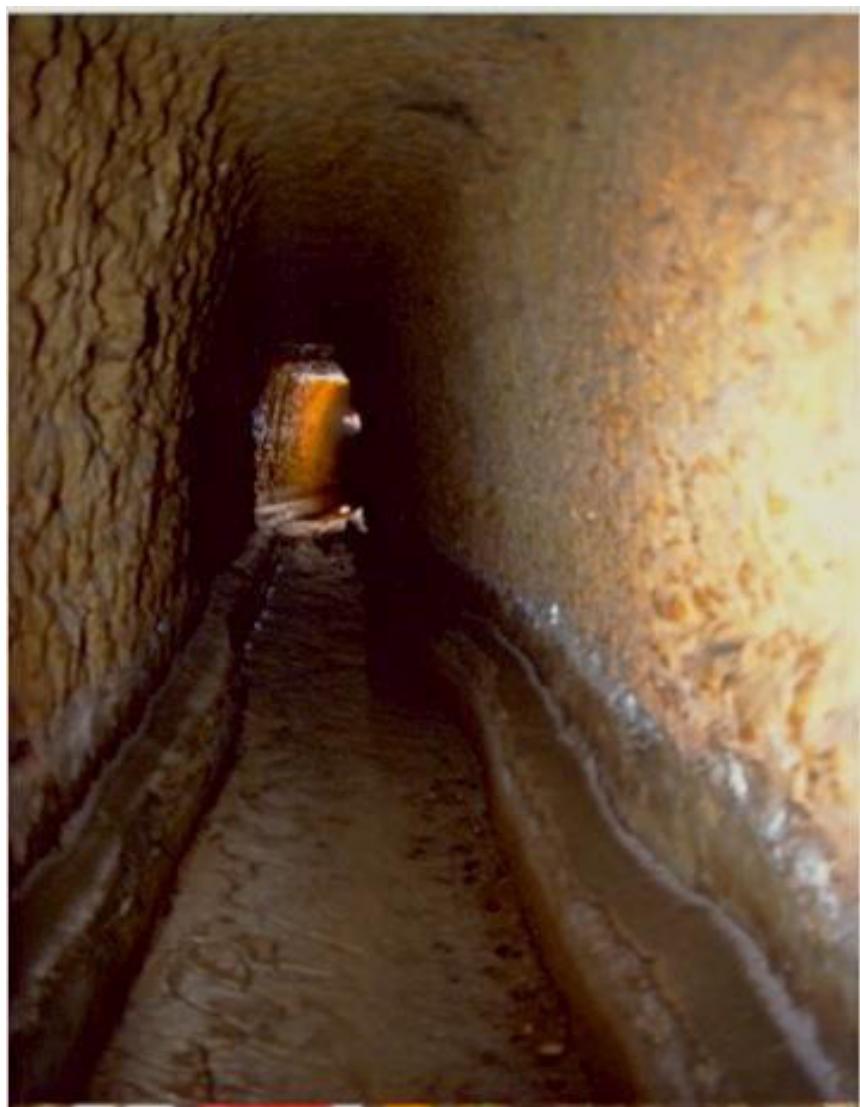


Fig.6



Fig. 7

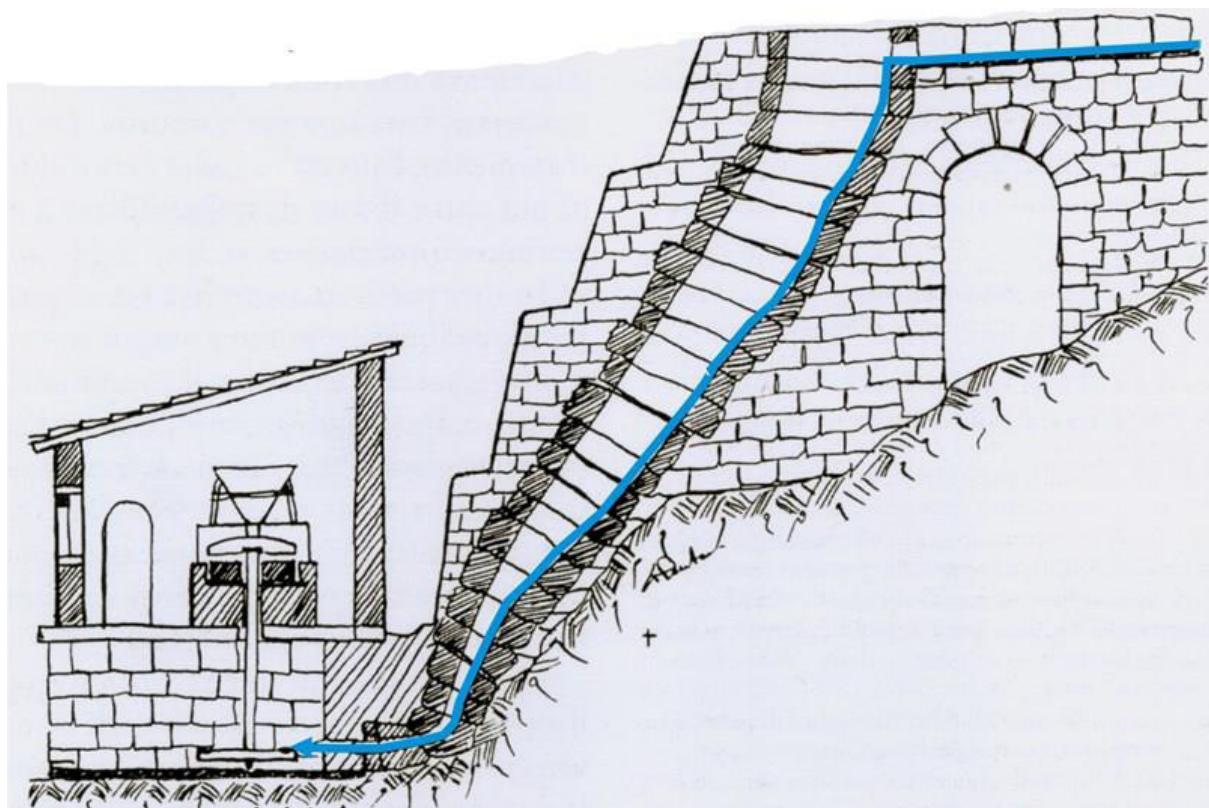


Fig.8

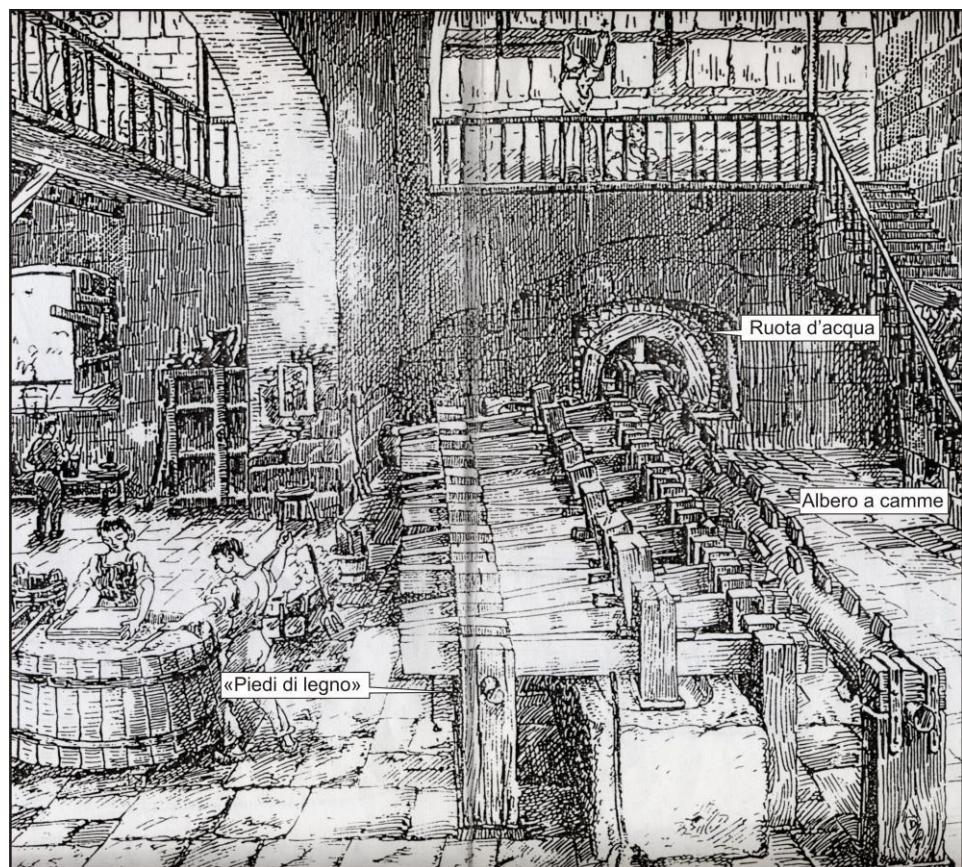


Fig.9

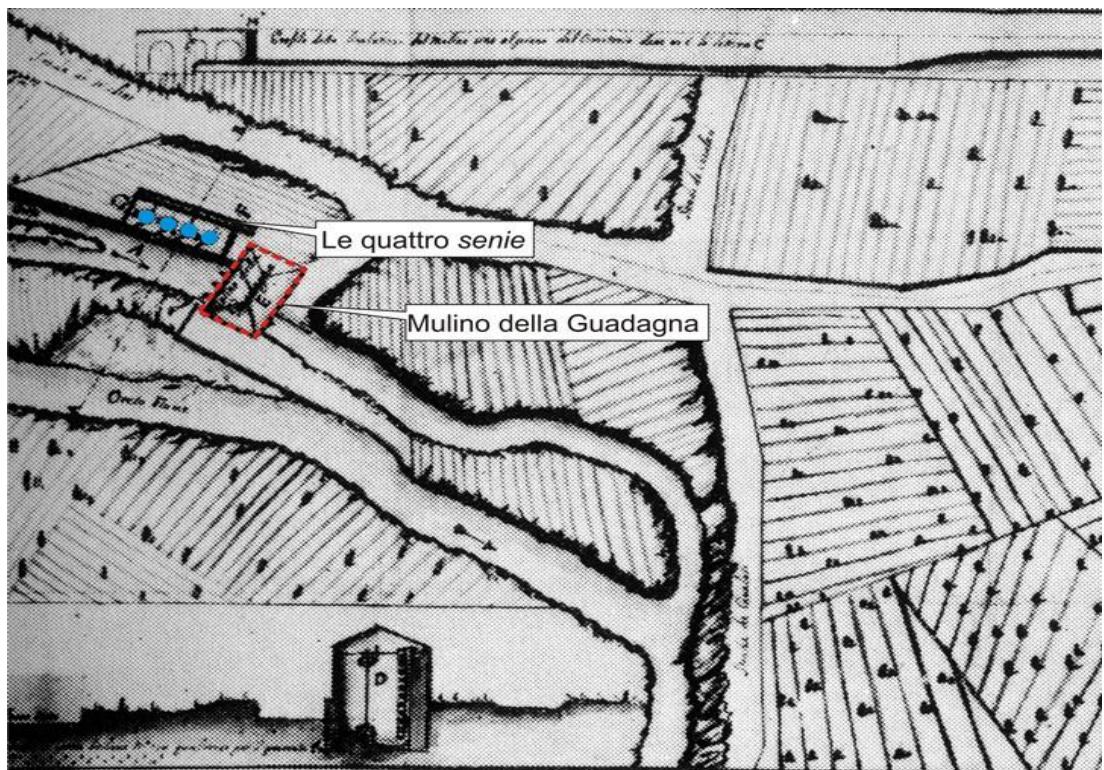


Fig.10



Fig.11

Corpo idrico sotterraneo: **Piana di Palermo**

b) Caratteristiche geografiche, geologiche, idrogeologiche

Localizzazione geografica e morfologia del corpo idrico

Localizzazione geografica

La Piana di Palermo ha una estensione di circa 130 km² ed ha andamento NW-SE con uno sviluppo costiero di circa 30 km. E' delimitata dai cosiddetti "Monti di Palermo", a SE dal Fiume Eleuterio, che la separa dalla attigua Piana di Bagheria, ed a N-E dal Mar Tirreno. I circostanti "Monti di Palermo" raggiungono un'altezza media di circa 900 m, presentando versanti molto ripidi, incisi da valli abbastanza profonde, strette ed incassate, a fondo molto declive, il cui orientamento coincide frequentemente con la direzione predominante dei venti umidi (Libeccio).

Per quel che riguarda il sistema di drenaggio superficiale, il corpo idrico è drenato a SE dal Fiume Oreto, ad E dal Fiume Eleuterio, ed a ENE da alcuni corsi d'acqua minori (ricadenti nei bacini minori tra F. Oreto e Punta Raisi), tra i quali il maggiore è il Passo di Rigano, oggi interamente canalizzato.

I depositi pleistocenici (*argille di Ficarazzi* e/o calcareniti biancastre o giallastre) della Piana di Palermo poggiano sulle coperture terrigene numidiche o riposano direttamente sulla prosecuzione sepolta dei corpi idrici di Monte Gallo, Monte Castellaccio, Pizzo Vuturo - Monte Pellegrino, Monte Cuccio – Monte Gibilmesi e Belmonte-Pizzo Mirabella. Una aliquota idrica sotterranea, non indifferente, proveniente dai precipitati corpi idrici carbonatici, alimenta i sovrastanti acquiferi calcarenitici.

Il corpo idrico ricade nel foglio I.G.M.I. n. 249 "Palermo" (scala 1:100.000) e nei territori comunali di Palermo, Villabate, Ficarazzi e Monreale.

Aspetti geomorfologici

La Piana, caratterizzata da un andamento morfologico abbastanza regolare, registra una pendenza media tra il 10 ed il 15%. Essa è il risultato sia delle ripetute azioni del "mare quaternario", sia dei corsi d'acqua che la hanno incisa più o meno profondamente.

Le forme derivanti sono rappresentate da una serie di pianori, a diversa quota, con dislivelli di qualche metro, raccordati da scarpate con altezza da pochi ad alcuni metri. La rete viaria urbana ed extraurbana si è sviluppata a tergo di tali scarpate.

Nel settore centrale della Piana sono stati identificati dei rilievi di ridottissima estensione, su cui sorse (a partire dall'VIII secolo a.C.) i primi insediamenti urbani (Palaeopolis, Neapolis, Transpapiroto). Tali rilievi, oggi di difficile individuazione, sono stati in tempi storici livellati a causa dell'intensa attività antropica esplicata. Nel centro storico di Palermo si ravvisano chiare tracce, anche nell'andamento del tessuto urbano, di due alvei antichi (Papiroto e Fiume del Maltempo) ancora oggi riconoscibili, come pure le morfologie delle testate e le relative bassure (fosse di Danisinni e della Garofala).

I principali corsi della rete idrografica sono il Fiume Oreto ed il canale Passo di Rigano (Cusimano *et al.*, 1981).

Il Fiume Oreto nasce dalle pendici della dorsale compresa tra M. Matarassaro Renna (1151 m s.l.m.) e le Punte di Cuti (1074 m s.l.m.). Nel suo tratto mediano è molto incassato, con andamento meandriforme e nella sua parte terminale, prima di sfociare nel Tirreno, risulta rettificato e canalizzato.

Il Canale Passo di Rigano raccoglie le acque di alcuni torrenti che si sviluppano dai rilievi posti ad occidente della città. Tali corsi, oggi canalizzati in sotterraneo (Luparello, Borsellino, Celona e Mortillaro), dopo avere attraversato la porzione centrale della Piana scaricano nel tratto di costa della località Acquasanta.

La configurazione della rete drenante è il risultato di numerosi interventi realizzati tra il XVI ed il XX secolo, in funzione di difesa dal pericolo di alluvionamento.

Considerazioni geologiche

In base agli studi precedenti (Gignoux, 1913; Ruggieri, 1967; Ruggieri & Sprovieri, 1975), alcuni dei quali basati sull'analisi delle informazioni litostratigrafiche, derivanti da indagini geognostiche (Cusimano *et al.*, 1997; Giammarinaro *et al.*, 1999) ed alle più recenti ricerche (Calvi *et al.*, 1998 e 2000, Contino *et. al.*, 2003), si è ricostruita la successione dei sedimenti marini pleistocenici della Piana di Palermo. Tali terreni risultano databili all'Emiliano sup. – Pleistocene medio (?), al Pleistocene superiore (Buccheri, 1966) ed all'Olocene (Di Stefano, 1998).

La Piana di Palermo è costituita da depositi pleistocenici marini, con spessori variabili, che talora possono raggiungere i 100 m, di calcareniti e/o argille sabbiose e silt, discordanti sui carbonati meso – cenozoici del settore di catena dei Monti di Palermo (Caflisch, 1966; Abate *et al.*, 1978; Catalano *et al.*, 1979) o sulle loro coperture numidiche.

Nel dettaglio, dal basso verso l’alto è riconoscibile la seguente successione:

a) terreni del substrato meso-cenozoico

Il substrato meso-cenozoico della Piana di Palermo è costituita da:

- successioni carbonatiche mesoterziarie imeresi e panormidi
- Flysch Numidico (Oligo – miocene): terreni argilloso-marnosi con intercalazioni, a luoghi, di arenarie quarzose . Il tetto del numidico della Piana presenta alti e bassi morfologici allineati secondo direttive tattiche pleistoceniche, già riconosciute nell’area da diversi autori (Catalano *et al.*, 1979, 1998; D’Angelo *et al.* 1980; Abate *et. al.*, 1982; Catalano & D’Argenio, 1982; Nigro & Renda, 2002).

b) depositi marini dell’Emiliano sup. - Pleistocene medio (?)

I depositi pleistocenici possono essere distinti in due litofacies principali:

- una calcarenitica superiore, con intercalati livelli argillosi e argilloso sabbiosi, con spessore variabile da qualche metro ad oltre 80 m (località Resuttana ai Colli). Questa litofacies è costituita da biocalcisiltiti e sabbie, passanti in alto a litareniti, biocalcareni e/o biocalcisiltiti (e subordinate biocalciruditi). La loro colorazione varia dal biancastro al giallastro, in funzione della percentuale di ossidi di ferro e manganese (Liguori & Cusimano, 1978). La cementazione, con un grado molto variabile, è sia primaria (calcite microcristallina), che secondaria (calcite spatica), e sono diffusi i processi di decentrificazione legati alla circolazione delle acque sotterranee.

A nord della Città, le calcareniti sono biancastre, granulometricamente omogenee, a prevalente contenuto calcitico e con rari livelli argilloso sabbiosi; mentre nel settore meridionale, le calcareniti sono giallastre e con una percentuale variabile di silice e quindi un diverso grado di cementazione (Cusimano & Di Cara, 1995). Nell’ambito delle calcareniti giallastre sono riscontrabili sia variazioni di litofacies, causate da ripetute eteropie laterali e/o verticali, sia argille sabbiose in livelli più frequenti e più potenti rispetto alle calcareniti biancastre.

- Una inferiore, prevalentemente argilloso-siltosa, assente o ridotta nel settore settentrionale della Piana. Questi depositi sono costituiti da argille sabbiose azzurre fossilifere con ripetuti passaggi di silt, sabbie e calcareniti talora grossolane, infra - circalitorali (Ruggieri, 1993), e con locali intercalazioni di sabbie medie o grossolane (Liguori & Cusimano, 1978). Lo spessore è mediamente decametrico, con un massimo in perforazione di circa 90 m (località Romagnolo). Alla base, in discordanza, si riscontra un orizzonte discontinuo, più o meno potente (sino ad oltre 1 m), di conglomerato trasgressivo polimittico, costituito da ciottoli, di natura silicea o carbonatica, da ben arrotondati ad appiattiti, con fori di litodomi o di spugne *Cliona*.

c) Depositi marini del Pleistocene sup.

Lungo la costa, ed in particolare nelle località Sferracavallo, Addaura, Vergine Maria, Arenella e Acqua dei Corsari, si riscontrano dei depositi marini del Pleistocene sup. con spessori medi in perforazione di 4 m (Arenella). Si tratta di biocalcareni e/o biocalciruditi e/o ghiaie in matrice sabbioso-siltosa discordanti sui terreni precedenti. Parte di essi sono stati datati al Tirreniano (Buccheri, 1966).

d) depositi continentali recenti ed attuali

- *Sabbie eoliche ed eolianiti würmiane*. Sono presenti in limitati affioramenti ubicati a ridosso di pareti rocciose (Monte Gallo, Addaura, Arenella, Pizzo Sferrovecchio), e costituiti da sabbie calcaree, più o meno quarzose, a stratificazione incrociata.
- *Depositi di travertino*. Si tratta di placche di calcari concrezionati bianco grigiastri, da vacuolari a compatti, legate a manifestazioni sorgentizie di un certa rilevanza. In questi depositi si rinvengono, inoltre, molluschi polmonati (*Helix spp.*) e raramente vertebrati continentali. Siti di affioramento sono quelli di Baida, di S. Isidoro (dove hanno spessori decametrici) ed Acqua dei Corsari.
- *Depositi alluvionali*. Affiorano in special modo lungo l'Oreto e nella parte alta della incisione del Fiume del Maltempo. Sono costituiti da ghiaie e ciottoli centi - decimetrici polimittici, immersi in una matrice sabbioso siltosa bruna o grigiastra. Gli spessori sono estremamente variabili, con massimi nel tratto terminale dell'Oreto (circa 50 m).

-Depositi fluvio-lacustri e palustri. Si tratta di sabbie fini con rari ciottoli centimetrici che si rinvengono, con spessori generalmente metrici, soprattutto a valle di gruppi sorgentizi (Favara di Villabate e Favara di Maredolce). Nelle anse riparate del Fiume del Maltempo (Giardinaccio) e del Papiroto affiorano anche silt torbosi bruno – nerastri. Altre aree palustri si rinvenivano un tempo nelle aree di Margifaraci, Ucciardone, Maredolce, etc.

-Depositi colluviali. Sono costituiti da sabbie fini e silt bruni o rossastri con ciottoli poco arrotondati, centimetrici, sparsi a sciami o concentrati in livelli lenticolari. Gli spessori maggiori (circa 20 m), si riscontrano nei tratti terminali delle principali conoidi, al piede dei versanti dei Monti di Palermo, specie nel sottosuolo del Borgo Nuovo e del C.E.P. Si rinvengono, inoltre, frequentemente, all'interno della Piana in corrispondenza delle antiche depressioni vallive, dove sono interdigitati con i depositi alluvionali.

- Depositi litoranei dell'antico porto (La Cala) - Questi depositi sono molto eterogenei, prevalentemente sabbioso – ghiaioso – ciottoloso, con orizzonti di argille torbose grigio nerastre. Si riscontrano costantemente nell'area dell'antico porto, confermando, in accordo coi dati storici, la presenza di una vasta rada che probabilmente si addentrava sino a lambire il sito dove oggi sorge al chiesa di S. Antonio Abate in Via Roma.

- Materiali di riempimento e risulta. Si riscontrano, con potenza variabile, in perforazione nella Piana di Palermo, essendo legati essenzialmente al riempimento di cave di materiale lapideo, successivamente abbandonate. Nel centro storico a ciò si aggiungono i riporti legati agli imponenti lavori per la realizzazione della cinta muraria cinquecentesca ed alla regimazione del Fiume del Maltempo e bonifica del Papiroto, culminate con la colmata definitivo del 1591. In quest'ultima zona si rinvengono, infatti, spessori superiori anche ai 10 m di materiali di risulta. Gli eventi bellici legati al secondo conflitto mondiale hanno determinato la creazione di ingenti cumuli di macerie che sono stati successivamente stoccati in discariche ubicate in alcune aree soprattutto costiere.

ACQUIFERI DELLA PIANA DI PALERMO

Nella Piana di Palermo è possibile riconoscere, la seguente successione verticale degli acquiferi:

- uno superficiale, costituito di calcareniti organogene biancastre o giallastre, con intercalazioni sabbiose e/o sabbioso siltose, talora con livelli conglomeratici alla base e con occasionali o ripetuti livelli prevalentemente siltoso argilloso che determinano condizioni di semiconfinamento della falda idrica ospitata e a luoghi più livelli acquiferi. La permeabilità media si stima dell'ordine di 10^{-4} – 10^{-2} m/s;
- uno profondo, di natura prevalentemente carbonatica (calcari e dolomie mesozoiche), intercettato a diversa profondità (oltre i 100 m dal p.c.), con permeabilità media stimata tra 10^{-2} e 10^{-4} m/s.

In alcuni settori della Piana, tra i due acquiferi, si intercalano, con spessori variabili, terreni impermeabili del Flysch Numidico ($k = 10^{-10}$ m/s) o delle successioni argilloso sabbioso siltose pleistoceniche ($k = 10^{-6}$ m/s).

Si sottolinea che per corpo idrico della Piana di Palermo si intende solamente l'acquifero multifalda impostato nei depositi arenacei, calcarenitico-sabbioso e sabbioso-limose con intercalazioni siltoso-argilloso disposte a diverse altezze stratigrafiche.

RICOSTRUZIONE DELL'ANDAMENTO DEL SUBSTRATO DELLA PIANA

In base ai dati ricavati dall'interpretazione delle stratigrafie di sondaggi geognostici e di pozzi idrici (oltre 2000 stratigrafie), è stata realizzata la carta del tetto del substrato della Piana di Palermo (Calvi *et al.*, 1998, Fig. n.1).

Dall'analisi delle curve del tetto del substrato si evince che la Piana di Palermo può essere suddivisa in tre settori:

- Il settore N è caratterizzato da strutture carbonatiche mesozoiche (localmente affioranti o sepolte al di sotto dei sedimenti pleistocenici), progressivamente ribassate dalla tettonica e talvolta ricoperte da depositi terrigeni del Flysch Numidico. In quest'area alcune forme possono essere interpretate come canali d'erosione subaerea, con andamento sub-parallelo alla falesia ad andamento N - S di Monte Pellegrino.
- Il settore centrale, è contraddistinto dalla presenza di rilevanti spessori di coperture

terrigeno del Flysch Numidico e, nell'area più occidentale, di argilliti silicee fissili e radiolariti. Questo settore rappresenta, nel suo complesso, un alto morfostrutturale modellato prevalentemente da processi di abrasione costiera; il limite meridionale è invece costituito da un sistema di gradini morfostrutturali ad andamento WSW - ENE.

- Il settore meridionale è un'area strutturalmente depressa, ed il substrato è costituito prevalentemente da depositi terrigeni impermeabili del Flysch Numidico. Nella fascia pedemontana di Ciaculli-Falsomiele i depositi pleistocenici (qui costituiti in gran parte da calcareniti e/o conglomerati) poggiano direttamente sul substrato meso-cenozoico (corpo idrico Belmonte-Pizzo Mirabella).

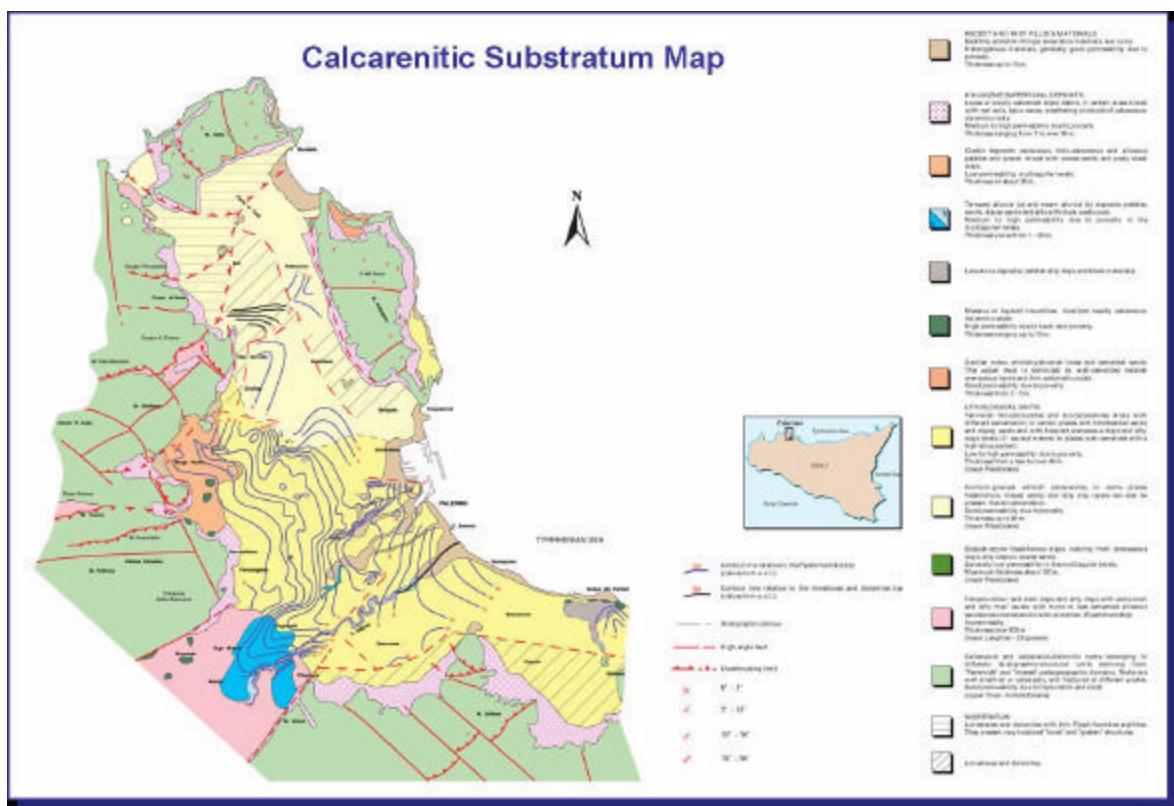


Fig. 1 – Carta del tetto del substrato della Piana e dei Monti di Palermo (Calvi et al.1998)

HYDROSTRUCTURAL MAP OF THE PIANA AND OF THE MONTI DI PALERMO

Federico Calvi¹, Antonio Contino¹, Gioacchino Cusimano¹, Antonino Di Cora¹, Alfonso Frias Foronda¹, Sergio Hauser² & Santino Pollicino²
¹Dipartimento di Geologia e Geodinamica dell'Università, Palermo; ²Dipartimento di Chimica e Fisica della Terra dell'Università, Palermo.

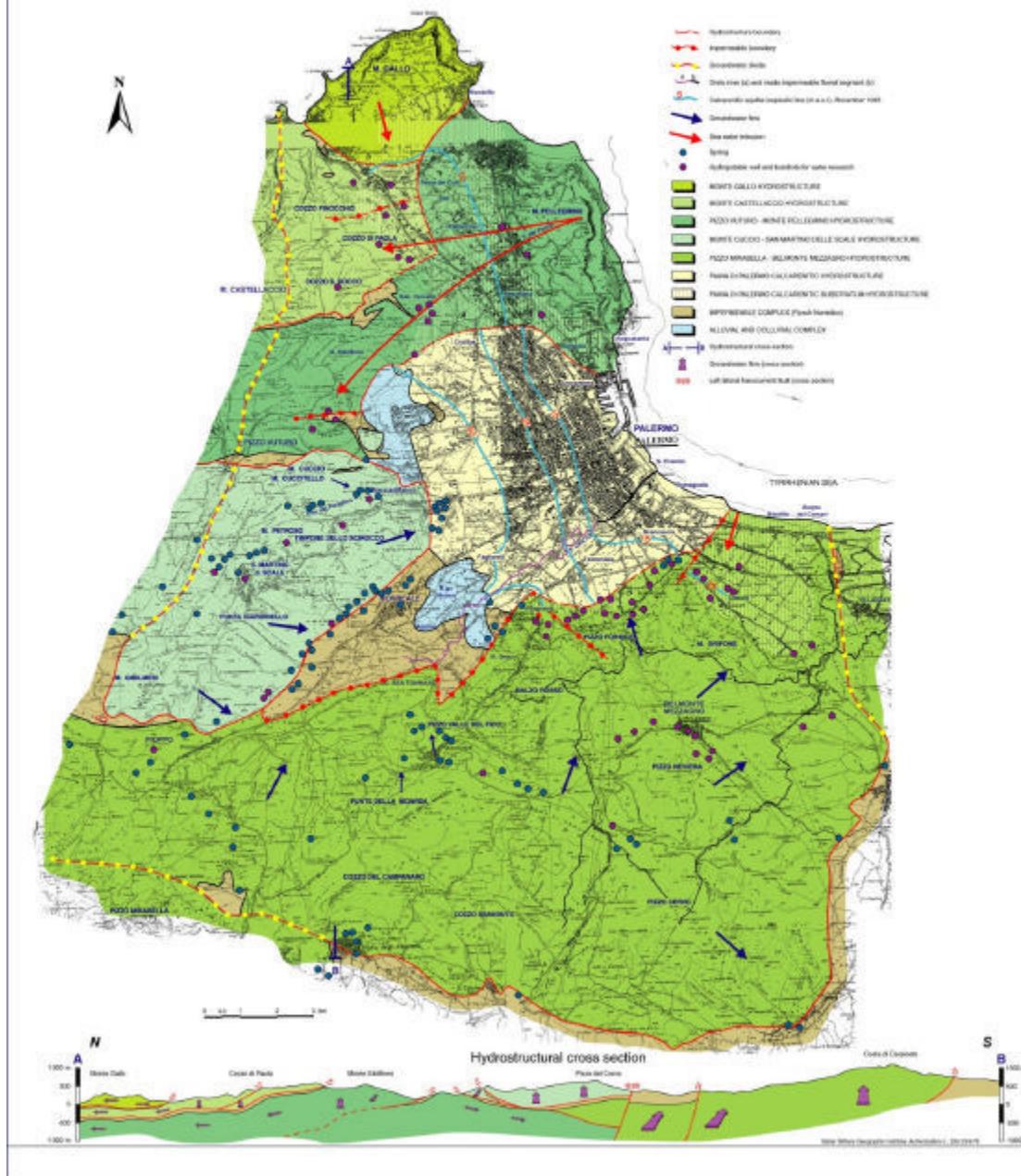


Fig. 2 – Mappa idrostrutturale della Piana e dei Monti di Palermo (Calvi et al. 1998)

Caratteristiche idrogeologiche e idrochimiche

Regime pluviometrico e infiltrazione

La pioggia media annua è di circa 700 mm (calcolata per il periodo 1964-95, Atlante Climatologico) distribuita rispettivamente in un periodo umido, da ottobre a marzo o anche aprile, ed in un periodo secco da giugno ad agosto.

Corpi idrici alimentanti gli acquiferi della Piana

L’analisi geologico-strutturale, corredata da informazioni dedotte dalla stratigrafia di pozzi di una certa profondità e da rilievi piezometrici e idrogeochimici, ha consentito l’individuazione di corpi idrici carbonatici con comportamento autonomo, responsabili dell’alimentazione sotterranea degli acquiferi localizzati nella Piana di Palermo (Calvi *et al.*, 1998) (Fig. 2). Per l’inquadramento di tali corpi idrici nel modello idrostrutturale dei Monti di Palermo, si rimanda a Contino *et al.*, (1998).

Procedendo da nord verso sud, si riscontrano:

- Il corpo idrico di **Monte Gallo**, sepolto sotto le calcareniti del settore W della Piana dei Colli è localmente separato da esse da spessori variabili dai materiali impermeabili del Flysch Numidico;
- Il corpo idrico di **Monte Castellaccio**, presente nel sottosuolo del settore di Cardillo direttamente al di sotto delle calcareniti; infatti, dalle colonne litostratigrafiche dei pozzi si evidenzia che solo molto localmente si intercalano tra entrambi gli acquiferi ridotti spessori di depositi terrigeni impermeabili del Flysch Numidico. Le condizioni strutturali, idrogeologiche e geomorfologiche autorizzano a considerare in continuità idraulica l’acquifero calcarenitico della Piana dei Colli con l’idrostruttura carbonatica sottostante;
- Il corpo idrico di **Pizzo Vuturo-Monte Pellegrino** si riscontra sepolto tra la Piana dei Colli e quella di Palermo propriamente detta (settore E di Piana dei Colli, Pallavicino, Resuttana e Petrazzi). Tutti i dati litostratigrafici ricavati dall’analisi delle stratigrafie dei pozzi idrici e geognostici indicano l’assenza dei depositi pelitici impermeabili del Flysch Numidico incuneati tra le calcareniti ed i calcari del corpo idrico P. Vuturo – M. Pellegrino il che induce a ritenere che i due acquiferi siano in continuità idraulica.

Inoltre, nel corpo idrico P. Vuturo – M. Pellegrino, che è a contatto diretto col mare, si osserva un cuneo d'intrusione marina che procede dalla Valle del Porco (Monte Pellegrino) verso il Pizzo Vuturo. La concentrazione di Cl⁻ riscontrata nell'acquifero calcarenitico, costituisce un elemento probante a favore dell'ipotesi di un collegamento idraulico tra le calcareniti ed i calcari sottostanti.

- Il corpo idrico di **Monte Cuccio – Monte Gibilmesi**, in base ai dati litostratigrafici (ricavati sia dall'analisi delle stratigrafie dei sondaggi idrici e geognostici, sia dai rilievi geologici effettuati sul terreno), strutturali, idrogeologici e geomorfologici, sembra avere una ridotta prosecuzione nel sottosuolo della Piana di Palermo. Le acque che si infiltrano nelle rocce carbonatiche di questa idrostruttura vengono a giorno nelle sorgenti e nei cunicoli drenanti del Vallone Paradiso – Boccadifalco, di Monreale e soprattutto del gruppo del Gabriele. In condizioni naturali, queste acque si sverserebbero nella Piana di Palermo sotto forma di acque di deflusso superficiale, mentre allo stato attuale molte risultano o non produttive o captate per uso idropotabile-irriguo.
- Il corpo idrico di **Belmonte Mezzagno-Pizzo Mirabella**, il cui settore settentrionale ha la sua diretta prosecuzione al di sotto delle calcareniti della Piana di Palermo (Falsomiele – Ciaculli) ed è in parte responsabile della loro alimentazione.

Regime della falda e flussi sotterranei

Andamento piezometrico delle falde idriche della Piana

Due campagne di rilevamento a cadenza semestrale, condotte nell'ottobre 1995 e nel giugno 1996, hanno permesso di evidenziare l'andamento dei livelli piezometrici nei due periodi. Nel settore della Piana dei Colli, le calcareniti biancastre poggiano direttamente su idrostrutture carbonatiche sepolte, quindi i valori di livello piezometrico relativi ai pozzi attestati in calcari o in calcareniti sono paragonabili tra loro. Nella zona centrale (Fondo Verde/Fondo Bacchi) si riscontra in perforazione un potente pacco di sedimenti prevalentemente pelitici (oltre 100 m), in grado di isolare idraulicamente i due acquiferi.

Nell'area centrale della Piana di Palermo, le informazioni idrogeologiche disponibili si riferiscono alla falda libera o semiconfinata ospitata nelle calcareniti

giallastre. A partire dall'assetto idrogeologico della Piana è possibile distinguere almeno tre acquiferi: uno a nord del Fiume Oreto, un secondo a sud dello stesso, mentre un terzo è compreso tra Ciaculli e Acqua dei Corsari. Una revisione dei dati geochimici storici, ha infine fornito indicazioni sul rapporto tra il Fiume Oreto e l'acquifero calcarenitico della Piana (Cusimano *et al.*, 1996).

Nel settore compreso tra Ciaculli e Acqua dei Corsari (Calvi *et al.*, 1998, Contino *et al.*, 2002) si distinguono due aree, una pedemontana nella quale le calcareniti poggiano direttamente sulle dolomie (Fm. Fanusi) e/o sulle intercalazioni carbonatiche in seno alle radiolariti ed argilliti silicee (Fm. Crisanti) appartenenti al corpo idrico di Belmonte Mezzagno-Pizzo Mirabella. Nella fascia costiera invece le calcareniti poggiano direttamente su un corpo di sedimenti pelitici, noti in letteratura geologica col nome di *Argille di Ficarazzi* (Emiliano sup.-Siciliano), a loro volta riposanti sul Flysch Numidico.

Considerazioni sulla vulnerabilità

L'area della Piana di Palermo, ospita, oltre la città di Palermo, diversi sobborghi, per un totale di circa 1.000.000 d'abitanti. Negli ultimi decenni si è verificato uno sviluppo abnorme ed incontrollato dei nuclei più urbanizzati, oltre che nelle fasce costiere e nelle zone pedemontane (espansione della città di Palermo), anche nelle aree montane (case prevalentemente utilizzate nei soli periodi estivi). Questo sviluppo non è stato accompagnato dalla realizzazione delle reti di servizi (fognature, acquedotti, ecc.). Una conseguenza dell'assenza di queste reti è fra l'altro il proliferare di pozzi perdenti senza alcun controllo sanitario.

Le cause principali dell'inquinamento idrico nella Piana sono individuate nella trasformazione di alcuni canali artificiali e del Fiume Oreto in collettori fognari. Tutti questi canali, costruiti originariamente per esclusiva difesa idraulica della città di Palermo, non sono impermeabilizzati e di conseguenza restano in comunicazione idraulica con gli acquiferi sotterranei della Piana. Indicativa, in tal senso, è la presenza di pozzi idrici ubicati anche in aree distanti dall'Oreto, che presentano diffusi fenomeni di inquinamento di tipo organico. Altri canali, sorti nell'ambito delle opere di bonifica del Pantano di Mondello, ed originariamente adibite allo smaltimento di acque bianche, sono ormai diventati collettori fognari. La situazione generale è aggravata dalle frequenti rotture della

rete fognaria esistente, generalmente provocate da eventi meteorici appena rilevanti. La stessa rete fognaria, specificatamente nell'area del centro storico, è per altro ancora costituita dai vecchi manufatti, spesso realizzati in conci di calcareniti altamente porosi. Un ruolo importante, in qualità di vincoli e di gestori di inquinanti, rivestono rispettivamente: la rete dei qanat e le numerose cave storiche (a cielo aperto ed in galleria) in calcareniti, presenti nel centro urbano ed in alcune aree periferiche che spesso vengono utilizzate come aree agricole o di deposito di rifiuti vari. Inoltre, la maggior parte dei centri urbani della Piana, che scaricano i reflui nei corsi d'acqua, pur essendo dotati di depuratori, difettano nella manutenzione di quest'ultimi o addirittura non hanno provveduto ad effettuare opportuni collaudi. In tal modo, i depuratori finiscono per non assolvere le loro funzioni.

Sono pure presenti un gran numero di piccole discariche di RSU e d'accumuli di materiali di risulta, lungo le principali vie di comunicazione (CUSIMANO & DI CARA, 1995). L'urbanizzazione incontrollata ha comportato la realizzazione di un gran numero di pozzi idrici, molti dei quali non autorizzati. Il conseguente sfruttamento della risorsa idrica ha prodotto un depauperamento evidenziato dalla drastica diminuzione delle portate o dal prosciugamento d'alcune sorgenti. Lo sfruttamento incontrollato delle acque sotterranee nella Piana ha determinato un deterioramento della qualità delle stesse, a causa dell'intrusione marina, che arriva ad interessare le fasce pedemontane dei rilievi carbonatici.

Caratterizzazione idrogeochimica degli acquiferi

La caratterizzazione dei corpi idrici carbonatici circostanti la Piana di Palermo trova conferma anche da un punto di vista geochimico. Le acque, che nello schema classificativo di Langelier & Ludwig (1942), variano da bicarbonato alcalino terrose a clorurato solfato alcaline, mostrano un chimismo fortemente correlato sia al processo d'interazione acqua- roccia, sia ad altri processi (mescolamento, scambio ionico etc.), già messi in evidenza in letteratura (Alaimo *et al.*, 1984; Cimino *et al.*, 1986; Cusimano *et al.*, 1996), che in parte obliterano l'informazione primaria.

La predominanza di Ca^{++} nelle acque circolanti nelle idrostrutture site a nord del sovrascorrimento di Monte Cuccio, ben si accorda alla prevalenza di rocce calcaree. La

maggiori presenze di Mg^{++} nel settore meridionale, riflette invece la composizione dolomitica delle rocce dei corpi idrici alimentatori di Monte Cuccio-Monte Gibilmesi e di Belmonte Mezzagno-Pizzo Mirabella.

Negli acquiferi relativi alla Piana di Palermo, inoltre, si possono distinguere un settore nord (Piana dei Colli) caratterizzato dalla netta prevalenza di Cl^- e Na^+ rispetto ad un settore sud dove HCO_3^- ed in subordine Ca^{++} , sono predominanti (Cusimano *et al.* 1996). Esiste una zona intermedia (area di Cruillas/Resuttana) che pur appartenendo, da un punto di vista geochimico, al settore sud manifesta variazioni probabilmente legate alla stagionalità (Calvi *et al.* 1998).

Distribuzione di Cl^-

Il cloruro, ione conservativo delle acque, ben si presta alla definizione di contorni d'isoconcentrazione e dei conseguenti processi che li hanno determinati.

In accordo con quanto detto in precedenza è possibile differenziare, nella Piana di Palermo, un settore nord con concentrazioni superiori a 5 meq/l, da un settore sud con valori inferiori. Nel settore nord è stato individuato un processo d'intrusione marina che, a partire dal corpo idrico di Pizzo Vuturo-Monte Pellegrino, arriva ad interessare anche quella di M. Castellaccio (area del Vallone Guggino). L'intrusione marina sembra procedere, secondo due cunei, dal sistema carsico della Valle del Porco (M. Pellegrino) verso il Vallone Guggino e Pizzo Vuturo (Cusimano *et al.*, 1996; Calvi *et al.*, 1998).

E' stato anche definito un processo di salinizzazione dell'acquifero calcarenitico, causato da due diversi fattori (Cusimano *et al.*, 1996):

- dilavamento di Cl^- e scambio ionico, laddove tra le calcareniti e l'acquifero carbonatico s'intercalano argille le quali trattengono Ca^{++} liberando Na^+ , Mg^{++} e Cl^- ;
- apporto d'acqua di mescolamento proveniente dal cuneo salino, presente nell'acquifero carbonatico, laddove acquifero calcarenitico e acquifero carbonatico siano in continuità idraulica.

Nell'area di piana costiera, in prossimità della foce del Fiume Oreto (Romagnolo), sono stati rilevati valori di Cl^- maggiori di 10 meq/l nel periodo tardo autunnale ed inferiori a 5 meq/l nel periodo tardo primaverile.

Per quanto riguarda l’acquifero calcarenitico del settore Acqua dei Corsari, sono stati rilevati, nel periodo tardo primaverile, valori di Cl^- maggiori di 15 meq/l.

Nel settore meridionale della Piana, alle propaggini settentrionali del corpo idrico di Belmonte Mezzagno-Pizzo Mirabella, sono stati rilevati valori di Cl^- , inferiori a 0,5 meq/l nel periodo tardo autunnale e maggiori di 1 meq/l nel periodo tardo primaverile. Queste variazioni stagionali di Cl^- potrebbero essere legate alle diverse attività agricole effettuate in tale settore.

Estrazioni di acque dolci e usi

L’acquifero calcarenitico presenta una bassa potenzialità idrica rispetto a quello carbonatico profondo. Sebbene quest’acquifero non sia più sfruttato per usi idropotabili, il suo ruolo è rilevante per i seguenti motivi:

- interferisce, direttamente o indirettamente, con le opere architettoniche o d’ingegneria civile;
- recepisce fluidi inquinanti di varia natura, li immagazzina e li idroveicola verso i recapiti della falda, verso gli acquiferi profondi e verso il mare;
- ospita i collettori della rete fognaria, le condotte della rete di distribuzione idrica e gli scavi sotterranei realizzati in varie epoche storiche (qanat, camere dello scirocco, cripte, catacombe, canali sotterranei, cave in sotterraneo, ecc.);
- localmente assicura aliquote idriche non indifferenti all’industria ed alle rimanenti aree agricole della Piana di Palermo.

Sull’acquifero carbonatico profondo, attualmente, si dispone di pochi dati e per lo più puntuali, dato che quasi tutti i pozzi idrici realizzati nella Piana si attestano nella zona satura dell’acquifero calcarenitico o si spingono solo sino al tetto dei terreni impermeabili del Flysch Numidico.

Conclusioni

Per le considerazioni di carattere geologico, geologico-strutturale, idrogeologico e geochimiche descritte nei paragrafici precedenti possiamo affermare che:

- il corpo idrico della Piana di Palermo è caratterizzato da un'acquifero multifalda impostato nelle calcareniti pleistoceniche che possono essere in continuità idraulica con i depositi carbonatici mesocenozoici o possono essere tamponati dai depositi argillosi sottostanti e interposti ai terreni carbonatici;
- il corpo idrico della Piana di Palermo è considerato “non significativo” dal punto di vista qualitativo, secondo le disposizioni dettate dal D.Lgs. 152/99, in quanto presenta evidenti segni di degrado imputabili a numerosi fattori di pressione antropica ossia alla presenza sia di centri di pericolo (depositi e distributori di benzina, discariche, cimiteri, allevamenti, collettori fognari), sia di potenziali ingestori e viacoli d'inquinamento (cave, pozzi abbandonati) e sia alla presenza di forme carsiche che favoriscono l'ingresso degli inquinanti nel sottosuolo.

Bibliografia

- ABATE B., CATALANO R. & RENDA P. (1978) - *Schema geologico dei monti di Palermo (Sicilia)*. Boll. Soc. Geol. It., 97, 807-819.
- 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.
- ALAIMO R., FERLA P. & HAUSER S. (1984) – *Idrogeochimica delle acque della Piana di Palermo*. ILA Palma Edizioni, 79 pp., Palermo.
- BARTOLOMEI C., CELICO P. & PECORARO A. (1983) – *Schema idrogeologico della Sicilia Nord-occidentale*. Boll. Soc. Geol. It., 102, 329-354.
- BUCCHERI G. (1966) - Contributo alla conoscenza della malacofauna di un terrazzo marino presso Palermo. Atti Acc. Gioenia di Sc. Nat. in Catania, vol. XVIII, Catania.
- BUCCHERI G. (1979) - *Pteropoda ed Heteropoda (Mollusca, Gastropoda) del Pleistocene inferiore (Siciliano) della Sicilia*. Lavori Istituto di Geologia, Università degli Studi di Palermo., n.15.
- CALVI F., CONTINO A., CUSIMANO G., DI CARA A., FRIAS FORCADA A., HAUSER S. & PELLERITO S. (1998) - Nuovi contributi alla conoscenza dell'idrogeologia della Piana di Palermo. Atti del 79° Congr. Naz. Soc. Geol. It., vol. A, 212-215.
- CALVI F., CONTINO A., CUSIMANO G., DI CARA A., FRIAS FORCADA A., HAUSER S. & PELLERITO S. (2000) - *Hydrostructures related to the Piana di Palermo aquifers and their hydrogeochemical characteristics*. Mem. Soc. Geol. It., 55, 473-481, 1 fig., 2 tabb., 2 tavv. f.t.
- CAFLISCH L. (1966)- *La geologia dei monti di Palermo*. Riv. Ital. Paleont. Strat., Mem., 12, 1-108.
- CATALANO R., ABATE B. & RENDA P. (1979) - *Carta Geologica dei Monti di Palermo scala 1:50.000 e note illustrate*. Istituto di Geologia, Università degli Studi 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. & VITALE F. P. (1995) – *Structural trends and paleogeography of the central and western Sicily belt: new insights*. Terra Nova, 7, 189-

CATALANO R & DI MAGGIO C. (1996) - *Sovrapposizione tettonica delle unità imeresi sulle panormidi nei Monti di Palermo (Sicilia)*. Il Naturalista Siciliano, s. 4, 20, 147-166, Palermo.

CATALANO R., DI STEFANO P., VITALE F. P., INFUSO S., VAIL P. R. (1998) – *Sequences and system tracts calibrated by hight-resolution bio-chronostratigraphy; the central mediterranean Plio-Pleistocene record*. SEPM Special Publ. No 60, 155-177.

CIMINO A., DONGARRA' G., ABBATE R. & MARCHESE G. (1997). *L'uso integrato di metodi geofisici e geochemica nello studio e controllo delle aree costiere*. Mem Soc. Geol. It., 37, 427-436.

CONTINO A., CUSIMANO G. & FRIAS FORCADA A. (1998) - *Modello Idrogeologico dei Monti di Palermo*. Atti del 79° Congr. Naz. Soc. Geol. It., vol. A, 334-337.

CONTINO A., CUSIMANO G. & FRIAS FORCADA A. (1999) - *Nuovi contributi alla conoscenza dell'assetto idrostrutturale dei Monti di Palermo*. Geologi di Sicilia, n.2 (aprile-giugno 1999).

CONTINO A., GIAMMARINARO M. S. &. VARSALONA S. (2003) – *Settore Sud Orientale della città di Palermo: studio stratigrafico – geotecnico della porzione non interessata dai depositi alluvionali dell'Oreto*. Geologi di Sicilia, n. 3, Luglio-Settembre 2003, 9-24.

CUSIMANO G. (1987) – *Risorse idriche del settore settentrionale della Provincia di Palermo nel quadro idrogeologico della Sicilia nord occidentale*. Atti del Convegno: “Sicilia e terzo mondo, risorse idriche e difesa del suolo, problematiche ed esperienze”, Palermo, 23-24 Gennaio, 1987.

CUSIMANO G. & DI CARA A.. (1995) – *Carta della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi del Territorio del Comune di Palermo (note illustrate)*. Quaderni di Geologia Applicata. Suppl. 3 1/1995, Pitagora Editrice, Bologna.

CUSIMANO G., DI CARA A. & NASTASI P. (1981) – *Analisi degli elementi principali del clima della Piana di Palermo*. Il Naturalista Siciliano, s. IV, vol. V, supplemento, 50 pp.

CUSIMANO G., DI CARA A., HAUSER S., MONTELEONE S. & PIPITONE G. (1997) – *Indagini*

idrogeologiche per la predisposizione di un piano di gestione dei corpi idrici della Piana di Palermo e dei Sicani meridionali. Rapporto finale del Progetto A-Risorse Idriche, modulo A/8 del Programma Operativo Plurifondo Sicilia 90-93. Regione Sicilia, Palermo.

CUSIMANO G. & FRIAS FORCADA A. (1998) – *Valutazione della ricarica naturale in una struttura calcareo dolomitica e sua verifica tramite le portate del sistema di drenaggio associato.* Atti del 79° Congresso nazionale della Società Geologica Italiana, Palermo 21-23 Settembre 1998, vol. A., 365-368.

CUSIMANO G. & FRIAS FORCADA A. (1999) – *Contributo alla valutazione del deflusso superficiale in strutture carbonatiche dei Monti di Palermo,* Il Naturalista Siciliano, s. IV, XXIII, 85-101.

CUSIMANO G. FRIAS FORCADA A. & HAUSER S (1996) – *Processi di salinizzazione caratterizzanti gli acquiferi della Piana di Palermo.* Acque Sotterranee, a. XIII, 13-25, Ed. GEOgraph, Segrate (MI).

D'ANGELO U., RUGGIERI G., UNTI M. & VERNUCCIO S. (1980) - *Neotettonica dei Fogli 248 (Trapani), 249 (Palermo), 250 (Bagheria), 258 (Alcamo, 259 (Termini Imerese) e 266 (Sciacca).* Contributo alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia parte I, Prog. Fin. "Geodinamica", 203 - 234.

DI STEFANO E. & RIO D. (1981) - *Biostratigrafia a nannofossili e biocronologia del Siciliano nella località tipo di Ficarazzi.* Acta Naturalia, 17, 97-117.

DI STEFANO E. (1998) - *I sedimenti marini post-tirreniani del Centro Storico di Palermo.* Atti del 79° Congr. Naz. Soc. Geol. It., vol. A, 419-420.

FABIANI R. & TREVISAN L. (1940) - *Prove dell'esistenza di uno stile tettonico a falde di ricoprimento nei Monti di Palermo.* Atti R. Acc. d'Italia, 11, 437-448.

FERRERI V. (1985) - *Criteri di analisi di facies e classificazione dei travertini pleistocenici dell'Italia meridionale.* Rend. Acc. delle Scienze fisiche e matematiche, serie IV, 52, Napoli.

GIAMMARINARO M.S., SPOTORNO R., SULLI A. & CATALANO R. (1999) - *Analisi litostratigrafica del sottosuolo del Centro Storico della Città di Palermo finalizzata alla stima della pericolosità sismica dell'area.* Il Naturalista Siciliano, 24, 335-357.

- GIGNOUX M. (1913) - *Les formations marines Pliocenes et Quaternaires de l'Italie du Sud et de la Sicilie*. Ann. Univ. Lyon, n. 36, Paris.
- LIGUORI V. & CUSIMANO G . (1978) – *Il sottosuolo della città di Palermo: caratterizzazione geologica del centro storico*. Boll. Soc. dei Natur. in Napoli, 87, 289-319.
- LUGEON M. & ARGAND E. (1906) - *Sur de grands phénomènes de charriage en Sicile*. Comptes Rendue de Seance de l'Academie de France.
- NIGRO F. & RENDA P. (2002) – *From mesozoic exstension to Tertiary collision: deformation patterns in the units of the North-western Sicilian chain*. Boll. Soc. Geol. It., 121, 87-97.
- PRATELLI W. (1961) - *Osservazioni sulla tettonica dei Monti di Palermo*. Riv. Min. Sic., 70-72, 180-182.
- RUGGIERI G. (1967) - *Quadro sintetico del Quaternario marino fra Castellammare ed Altavilla (Pa)*. Atti Acc. Gioenia Sc. Nat. in Catania s. VI, 18, 345-355.
- RUGGIERI G. (1993) – *Ricerche paleontologiche sul Siciliano dello Sperone (Palermo)*. Il Naturalista Siciliano, s. IV, 17 (1-2), pp. 23-31.
- RUGGIERI G. & SPROVIERI R. (1975) - *La definizione dello strato tipo del piano Siciliano e le sue conseguenze*. Riv. Min. Sic., 151-153.
- RUGGIERI G. & SPROVIERI R. (1977) - *A revision of Pleistocene stratigraphy*. Geologica Romana. 16, 131-139.

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/275208588>

Analisi stratigrafico-geotecnica del settore meridionale della città di Palermo finalizzata alla caratterizzazione di fattori di pericolosità sismica in esso presenti.

Article in *Bollettino- Società Geologica Italiana* · January 2006

CITATIONS

6

READS

342

5 authors, including:



Antonio Contino

Università degli Studi di Palermo

45 PUBLICATIONS 176 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



P. Vallone

10 PUBLICATIONS 105 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



progetto VIGOR (Valutazione del potenziale Geotermico delle Regioni della convergenza) [View project](#)



Le risorse lapidee dall'antichità ad oggi in Sicilia nel contesto mediterraneo [View project](#)

Analisi stratigrafico geotecnica del settore meridionale della città di Palermo finalizzata alla caratterizzazione di fattori di pericolosità sismica in esso presenti

A. CONTINO, M.S. GIAMMARINARO (*), P. VALLONE, S. VARSALONA & A. ZUCCARELLO (**)

RIASSUNTO

Una analisi della distribuzione del danno prodotto dall'attività sismica del settembre 2002 ha evidenziato la presenza di anomalie nel settore meridionale della città di Palermo, interessato da un edificio recente.

In questo lavoro viene effettuata una ricostruzione della geologia di superficie e di sottosuolo in tale settore e, con il supporto di un database stratigrafico-geotecnico, ad elevata densità di dati, visualizzabile e interrogabile su cartografia georeferenziata, vengono definite le zone del settore caratterizzate da una geologia locale favorevole alla generazione di effetti di sito per il verificarsi di una delle seguenti condizioni:

a) valore del contrasto di impedenza acustica maggiore di 4 per la presenza di depositi alluvionali, riferibili al fiume Oreto, soprattutti depositi calcareniti;

b) basso valore della velocità media delle onde S negli ultimi 30 metri <180 m/s, $V_{S30} < 180$ m/s determinato da un locale assottigliamento delle calcareniti e da un basso valore delle onde S nel sottostante litotipo.

Da un confronto con i risultati forniti dalla campagna di rilevamento del danno, promossa, a seguito dell'evento sismico del 6 settembre 2002, dal Dipartimento Regionale di Protezione Civile - Sicilia, emerge una buona coincidenza tra le zone interessate dai fattori di pericolosità sopra citati e le zone interessate da maggiore densità di richieste di verifica di agibilità e da maggiore densità di elementi strutturali danneggiati, rilevati dai tecnici che hanno effettuato i conseguenti sopralluoghi.

TERMINI CHIAVE: *Sistemi urbani, geologia urbana, effetti di sito, GIS, microzonazione sismica.*

ABSTRACT

Stratigraphical and geotechnical analysis for characterizing seismic hazard factors in the southern sector of Palermo city.

A detailed knowledge of the local geological-geotechnical setting is a basic starting point to establish the hazard exposure of an area (in particular, urban areas), characterized by high geological variability (GIAMMARINARO *et alii*, 2000).

In fact the local stratigraphical geometries and the trend of the most relevant quantities, controlling soil strength and deformability, affect the trend of a number of meaningful hazard factors.

To build a realistic geological-geotechnical model with a high spatial resolution, it is necessary to use reliable datasets, possibly managed in a GIS environment, able both to display data in their mutual spatial relationships and to check more easily the consistency of the data.

In this work a detailed analysis of soil properties in the southern sector of Palermo has been carried out, with the help of City-GIS (GIAMMARINARO & MAIORANA, 2001b; GIAMMARINARO & MAIORANA, 2001c), a GIS application developed at the Department of Geology and Geodesy of Palermo University, dedicated to natural hazard evaluation in urban areas.

City-GIS is equipped with tools and research keys to easily carry out specific analysis aimed at the process of natural hazard assessment.

The great quantity of data in this sector and their management through City-GIS have made it possible to outline, in detail and with a high resolution:

a) the geometry and the thickness of Quaternary deposits, overlying the bedrock;

b) the geology of the first 50 metres of subsoil, that mainly control hazard processes such as site effects.

Among the reasons that led us to study this sector of the city, there are the very high damage level and human response recorded in this area during the September 2002 earthquake (GIAMMARINARO *et alii*, 2003a, GIAMMARINARO *et alii*, 2005).

The Palermo southern sector is a recent urbanization area where reinforced concrete structures predominate. This area is characterized by a great vulnerability because of the presence of strategic structures of the city such as a regional hospital, industries, some monuments, a meaningful service network and relevant transport structures such as railways and the motorways.

The study has been carried out along different lines:

a) ground survey, aimed at identifying the vulnerable elements in the area;

b) geological survey aimed at producing a surface geological map;

c) modelling of geometry and thickness of the first 50 metres of subsoil;

d) geotechnical characterization of the lithotypes of the recognized successions.

For each lithotype the variability fields of thickness and S-wave velocity have also been evaluated also from the relationships linking the geotechnical parameters obtained from direct measurements on soil samples.

The analysis we carried out allows us to state that the study area (excluding that affected by the Oreto river alluvial deposits) can be described with a single geological succession model.

However the lithotypes of the recognized succession exhibit great variability in thickness in the area.

In detail: in the north-eastern sector of the investigated area, small thickness (<15 m) of calcarenous deposits overlie major thicknesses (up to 80 m) of silty clayey sands, while in the south-western sector calcarenous deposits are at least 30 meters thick.

The locally expected values of the acoustic impedance contrast and of the V_{S30} (S wave velocity in the first 30 meters) have been evaluated and two portions of the area, potentially affected by site effects have been recognized.

In one of them, site effects are to be ascribed to acoustic impedance contrast, while in the other one, to a low value (<180 m/s) of V_{S30} .

The process of recognition of these two areas has been made possible by an extensive use of the reliable stratigraphical-geotechnical dataset built up for Palermo urban area and by the tools equipped by City-GIS.

(*) E-mail: giammar@unipa.it

(**) Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo. Via Archirafi 22, 90123 Palermo - Tel 091 6230308 - Fax 091 6230314.

As a by-product, our results also indicate in the GIS technology a powerful and innovative method for the seismic microzonation of urban areas and for the identification, within them, of areas characterised by lithostratigraphic geometries and/or soil mechanical properties liable to produce site effects.

KEY WORDS: *Urban areas, urban geology, site effects, GIS, seismic microzonation.*

INTRODUZIONE

La distribuzione del danno prodotto dai terremoti di maggiore intensità che hanno interessato Palermo negli ultimi tre secoli (1 settembre 1726, 5 marzo 1823, 15 gennaio 1940) è stata studiata in dettaglio, limitatamente all'area del Centro Storico.

La presenza in tale porzione della città di un edificato molto antico ha permesso di analizzare gli effetti prodotti da eventi sismici differenti e di evidenziare come i maggiori danni si siano avuti sempre all'interno delle stesse zone (GUIDOBONI *et alii*, 2003), interessate da una geologia di superficie favorevole alla generazione di effetti di sito (GIAMMARINARO *et alii*, 2000).

I segnali acquisiti durante la sequenza sismica del settembre 2002 in corrispondenza a siti che ben campionano la geologia superficiale presente nel Centro Storico di Palermo, mostrano, nella banda di frequenze tra 1 e 3,5 Hz, valori del fattore di amplificazione da 4 a 10 al variare del sito di misura (DI GIULIO G. *et alii*, 2005).

Il settore meridionale della città, in cui ricade il fiume Oreto, è un'area di nuova urbanizzazione, con un edificato recente (30-40 anni) in cemento armato, per la quale pertanto, prima del settembre 2002, non si disponeva di informazioni relative agli effetti prodotti da terremoti.

A seguito del sisma del 6 settembre 2002 il Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo ha condotto, in collaborazione con lo INGV, una campagna di rilevamento del risentimento, coinvolgendo le principali scuole superiori palermitane. Sulla base delle risposte fornite in corrispondenza dei differenti campi di un questionario macroseismico distribuito agli studenti, è stato calcolato, mediante un algoritmo a ciò dedicato, il valore di intensità macroseismica da associare a ciascun questionario.

La georeferenziazione dei punti di rilevamento ha permesso di analizzare e confrontare le distribuzioni dei valori di intensità macroseismica ottenute all'interno di differenti settori della città.

Il valore medio dell'intensità macroseismica fornito dalla distribuzione ottenuta per il settore meridionale della città, è risultato più elevato di quello fornito dalla distribuzione ottenuta per il settore settentrionale della città (GIAMMARINARO *et alii*, 2005). Escludendo la porzione del settore meridionale interessata dai depositi alluvionali del fiume Oreto tale diversità continua a persistere.

In accordo, l'analisi in corso dei dati relativi ai danni prodotti nell'area palermitana dalla sequenza del settembre 2002 mostra il 70% delle richieste di verifica di agibilità pervenute dal settore meridionale, in cui ricade anche lo 80% degli elementi strutturali danneggiati.

Sulla base degli anomali effetti sismici per la prima volta evidenziati nel settore meridionale della città è stato avviato uno studio di dettaglio dei terreni presenti nella

area delimitata a nord dal mar Tirreno, a est dal limite comunale, a sud dai rilievi montuosi carbonatici, a ovest dal Centro Storico (fig. 1b).

L'area investigata è estesa circa 28 km² e ricade nelle sezioni in scala 1:10.000 denominate «595050 Palermo», «595090 Brancaccio» e «595100 Villabate», appartenenti al Foglio 595 della Cartografia Tecnica Regionale.

L'uso del suolo, nell'area in esame, è molto diversificato, con zone ad alta densità abitativa per la presenza di un edificato denso e, spesso, a molte elevazioni (>6), zone ad uso industriale e zone ad uso agricolo.

La densità abitativa localmente alta, la presenza di strutture strategiche a servizio della città (presidi ospedalieri, industrie), di una consistente rete di infrastrutture viarie a carattere regionale (linee ferrate, autostrada Palermo-Catania) ed, infine, di edificato storico-monumentale (Castello di Maredolce) conferiscono all'area un elevato grado di vulnerabilità che giustifica indagini finalizzate alla definizione dei fattori di pericolosità in essa eventualmente presenti.

In questa ottica è stato condotto uno studio avente a principali obiettivi:

- a) la ricostruzione della geologia di superficie;
- b) il riconoscimento e la definizione delle eventuali zone del settore caratterizzate da una geologia di superficie favorevole alla generazione di effetti di sito.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La «Piana di Palermo» (o Conca d'Oro) è una regione sub-pianeggiante, caratterizzata dalla presenza di un cuore di depositi marini pleistocenici, potenti fino ad un centinaio di metri. Questi depositi poggiano, in discordanza, sul Flysch Numidico e sui carbonati meso-cenozoici, costituenti il settore di catena dei Monti di Palermo (CAFLISCH, 1966; ABATE *et alii*, 1978; CATALANO *et alii*, 1979).

L'assetto strutturale della Piana si inquadra nel contesto più generale della strutturazione dei Monti di Palermo. Questi, segmento della catena siciliana, sono costituiti dall'appilamento di unità tettoniche derivanti dalla deformazione compressiva miocenica di depositi calcareo-dolomitici di mare basso (piattaforma Panormide), e calcareo-dolomitici e carbonatico-silicoclastici (bacino Imerese), con le sovrastanti coperture terrigene oligomioceniche (Flysch Numidico), scollate dal substrato ed embricate. Gli studi più recenti (CATALANO & DI MAGGIO, 1996) indicano le Unità Imeresi sovrascorse su quelle Panormidi.

Nel Pliocene medio-superiore una nuova fase tettonica plicativa traspressiva diede origine a sistemi di faglie inverse, fuori sequenza, con direzione E-W (AVELLONE & BARCHI, 2003).

Nel Pleistocene inferiore delle faglie estensionali, a notevole rigetto, hanno controllato l'evoluzione dei bacini sedimentari della Sicilia settentrionale. In tale contesto, nel settore corrispondente all'attuale piana di Palermo, nell'Emiliano superiore-Siciliano, iniziarono a sedimentarsi depositi di mare aperto, argillo-limosi, grigio-azzurri (Compleksso delle «Argille Azzurre» RUGGIERI *et alii*, 1975).

Tali depositi, visibili nella cava Puleo, sono stati descritti da GEMMELLARO (1909) e rappresentano la base per l'istituzione del Piano Siciliano (IGNOUX, 1913; CIPOLLA, 1931; FLORIDIA, 1956; RUGGIERI & SPROVIERI,

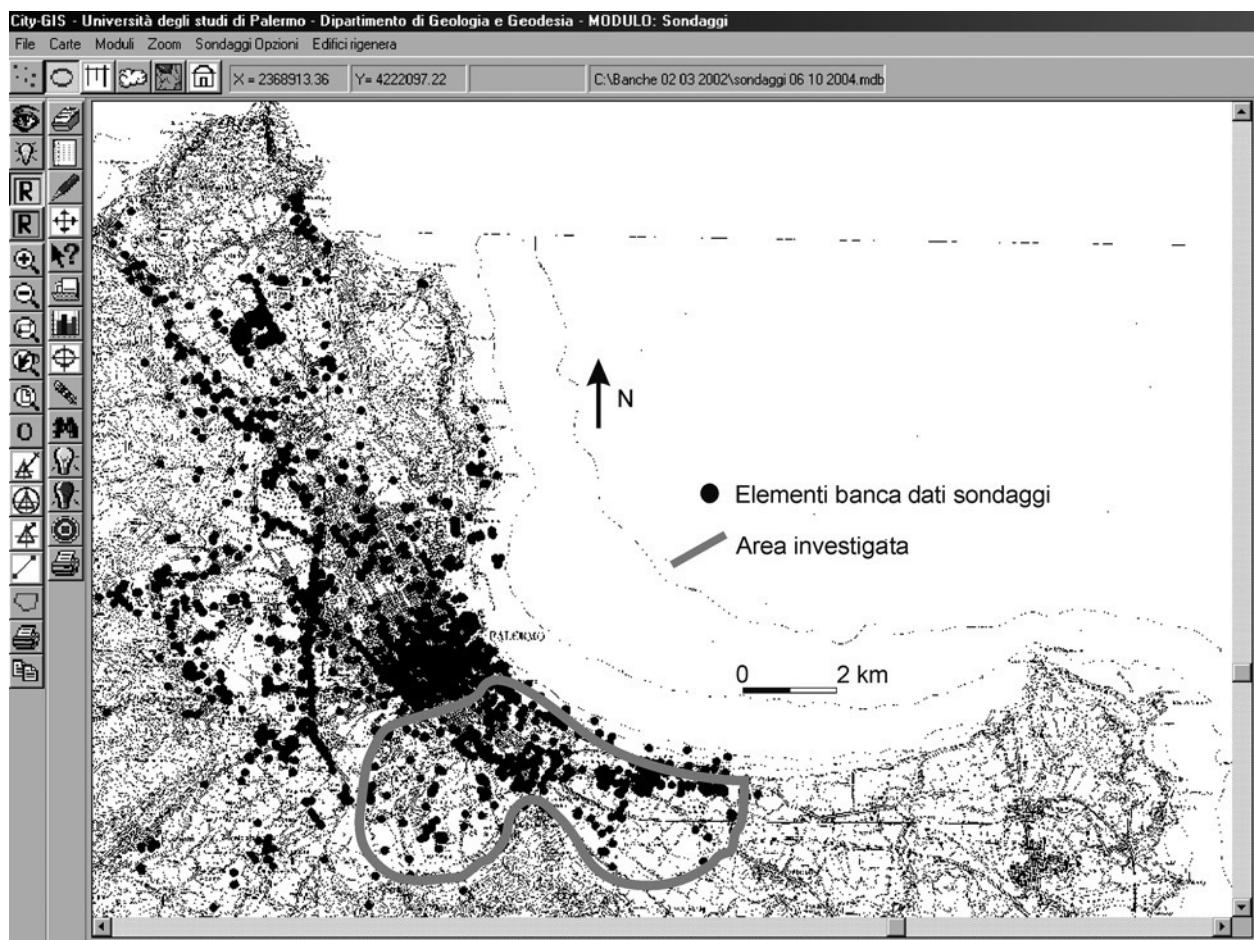


Fig. 1a - Area urbana palermitana e database stratigrafico
– Palermo urban area and Stratigraphical dataset.

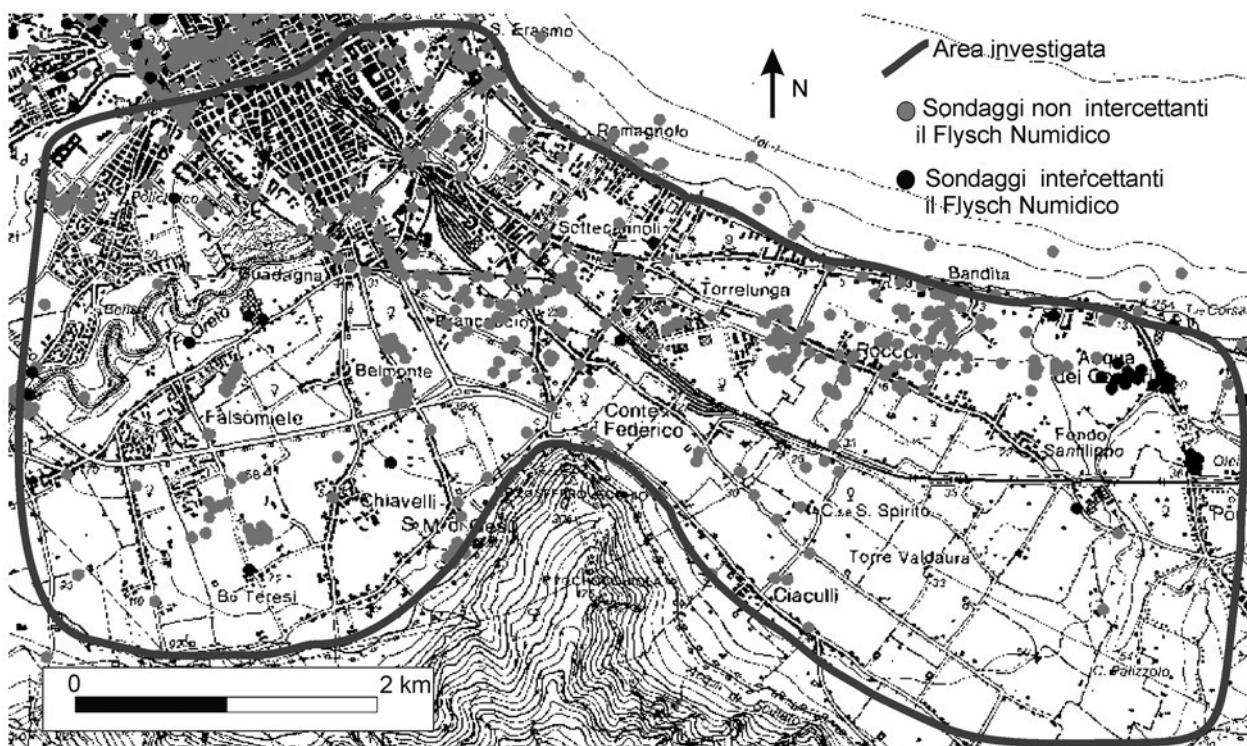


Fig. 1b - Area investigata.
– Study area.

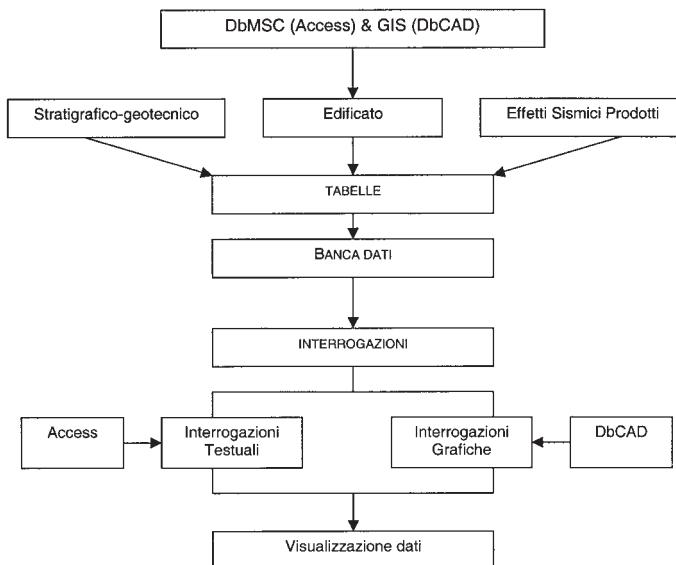


Fig. 2 - Struttura del sistema City-GIS.
– City-GIS structure.

1975). Il sondaggio stratigrafico, realizzato *ad hoc* presso la detta cava, ha permesso di datare la successione all'intervallo Emiliano superiore-Siciliano (RUGGIERI & SPROVIERI, 1977; DI STEFANO & RIO, 1981; BUCCHERI, 1984).

Depositi calcarenitici vengono rinvenuti al di sopra delle «Argille Azzurre» in altre zone della Piana.

RICOSTRUZIONE DELLA GEOLOGIA DI SUPERFICIE E DEL SOTTOSUOLO DEL SETTORE MERIDIONALE DELL'AREA PALERMITANA

DATI E METODI

Grande è l'abbondanza di dati concernenti i terreni derivanti da campagne geognostiche, condotte in occasione di interventi eseguiti all'interno delle aree urbane in diversificati ambiti, dal restauro e/o messa in sicurezza, all'ampliamento delle reti di servizio, alla crescita delle strutture strategiche, ecc..

La raccolta di tali dati, la loro lettura ed analisi, soprattutto se coordinate da ricercatori operanti nel settore, può permettere l'elaborazione di database affidabili, ad elevata risoluzione spaziale, adeguati a supportare una significativa ricostruzione della articolata geologia di superficie che spesso caratterizza le aree urbane, soprattutto se di antica origine.

Nell'ambito dell'esecuzione del Progetto 7T7 Cluster29: «Studio e diagnostica del substrato del centro storico di Palermo finalizzati alla conservazione e al restauro del patrimonio storico monumentale» (ente finanziatore MIUR) alcuni ricercatori del Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo hanno raccolto e analizzato numerosi dati stratigrafico-geotecnici, resi disponibili da differenti Amministrazioni territoriali (Comune di Palermo, Provincia, ecc..) e studi privati.

Ciò ha consentito l'elaborazione di un database stratigrafico, relativo all'area urbana palermitana, costituito da 2600 stratigrafie, relative a sondaggi meccanici distribuiti su di un'area estesa circa 70 km².

La distribuzione dei dati non è uniforme (fig. 1a) essendo, come atteso, maggiore la densità in corrispondenza

delle zone interessate da un più elevato grado di urbanizzazione. Fra queste rientra anche il settore meridionale della città, qui studiato.

Il database ottenuto è dotato di buon livello di affidabilità per le procedure seguite durante il processo di elaborazione che si è articolato nelle seguenti fasi:

1) Raccolta di stratigrafie relative a sondaggi meccanici effettuati nell'area urbana palermitana; assegnazione ai dati raccolti di un livello di qualità, sulla base della tecnica di esecuzione del sondaggio e del grado di accuratezza presente nelle descrizioni fornite per i terreni intercettati dal sondaggio; eliminazione dei dati giudicati di bassa qualità;

2) Analisi delle stratigrafie reperite, finalizzata alla omogeneizzazione delle descrizioni testuali ed all'individuazione e descrizione di tutti i litotipi rinvenuti;

3) Suddivisione dei litotipi in poche classi, definite dalle principali fasi e dai differenti processi di sedimentazione avvenuti nella piana (tab. 1);

4) Codifica dei litotipi individuati mediante attribuzione di una sigla idonea ad identificare il gruppo litologico di appartenenza e le caratteristiche litologiche (ad es. CGs: sabbie all'interno del gruppo delle Calcarenti giallastre);

5) Riscrittura colonne stratigrafiche mediante la codifica elaborata;

6) Georeferenziazione dei punti di sondaggio ed archiviazione di tutte le informazioni relative a ciascun punto di sondaggio in un database relazionale;

7) Rilettura, facilitata dal GIS, dei dati per aree contigue, finalizzata a verificarne la coerenza, revisione del database elaborato;

8) Esecuzione di nuovi sondaggi meccanici a verifica e controllo del complessivo database elaborato.

City-GIS

Il database stratigrafico elaborato, in continuo accrescimento dinamico, è gestito da City-GIS, un programma sviluppato a supporto dell'esecuzione del progetto precedentemente citato. L'ambiente di sviluppo di City-GIS (GIAMMARINARO & MAIORANA, 2001b; GIAMMARINARO & MAIORANA, 2001c) è Visual Basic.

Il software utilizzato per la banca dei dati è DBMS ACCESS, per il GIS un activex molto flessibile, realizzato dalla Abaco, denominato DbGIS, dotato di una libreria di funzioni che permette:

- l'esecuzione di numerose operazioni (interrogazione, inclusione, intersezione; esportazione di banca dati, anche parziale, in diverso formato quale SHP; esportazione in remoto per pubblicazione su WEB);

- lo sviluppo di macro per l'esecuzione di elaborazioni di interesse.

La struttura di archiviazione elaborata è suddivisa in moduli. Ciascuno modulo è dedicato ad uno specifico tematismo. I dati concernenti il particolare tematismo sono suddivisi in più tabelle. Tutte le tabelle sono relazionate, utilizzando campi indici che definiscono le corrette relazioni di dipendenza tra le informazioni contenute nelle tabelle, assicurando la complessiva integrità referenziale.

I tematismi gestiti da City-GIS sono quelli utili a definire la pericolosità dei terreni.

La fig. 2 illustra sinteticamente la struttura dello strumento informatico realizzato.

In questo studio è stato utilizzato solo il modulo di City-GIS denominato «Sondaggi», dedicato al tematismo

TABELLA 1

Litostratigrafia dell'area investigata (dal basso verso l'alto).

Depositi mesozoici e terziari (Dominio Imerese)

Costituiscono nella fascia pedemontana il substrato dei depositi pleistocenici e sono costituiti da successioni carbonatico-silicoclastiche (Unità Imeresi) nelle quali si riconoscono termini calcareo-marnosi (Formazione Scillato Auct., Carnico superiore-Retico), termini calcareo-dolomitici (Formazione Fanusi Auct., Lias inferiore), termini silicoclastici con intercalazioni carbonatiche (Formazione Crisanti Auct., Lias medio-Cretaceo superiore) e termini calcareo-marnosi (Formazione Caltavuturo Auct, Cretaceo superiore-Eocene).

Formazione del Flysch Numidico (Oligocene superiore-Miocene inferiore)

Prevalentemente pelitici costituiscono, nella restante parte dell'area studiata, il substrato dei depositi pleistocenici. Le coperture terrigene numidiche sono assenti nella fascia pedemontana, essendo state erose, in ambiente subaereo, prima della deposizione dei depositi marini pleistocenici.

Depositi marini dell'Emiliano superiore-Siciliano

Si riconoscono tre litofacies:

- conglomerato basale. Si tratta di un orizzonte, più o meno discontinuo, potente fino ad un metro, costituito da un conglomerato polimittico discordante sul substrato;
- «Argille Azzurre». (*Argille di Ficarazzi Auct.*, RUGGIERI, 1993). Presentano nell'area spessore variabile dai 10 ai 90m e abbondante macrofauna. Localmente si riscontrano intercalazioni e/o passaggi laterali di facies a sabbie e/o calcareniti compatte;
- Biocalcareniti giallastre (*Calcareniti di Palermo Auct.*). in banchi decimetrici e centimetrici, con stratificazione da pian parallela (debolmente immergente verso mare) ad incrociata.

Depositi continentali del Pleistocene medio-superiore

Seguono in discordanza e sono costituiti da sabbie rossastre quarzoso-siltose, con intercalate lenti di ciottoli calcarei e silicei; presentano notevole estensione areale e spessori metrici e nella Piana di Palermo sono state segnalate per la prima volta da CONTINO *et alii* (2003). Trattasi di depositi alluvionali (depositi di *alluvial fan*) con resti di grandi vertebrati del complesso ad *Elephas mnaidriensis* (DI MAGGIO *et alii*, 1999).

Depositi marini del Pleistocene superiore

Affioranti lungo la costa (GEMMELLARO, 1909; GIGNOUX, 1913; OTTMANN & PICARD, 1954) con spessori medi di circa 4 metri, sono costituiti da biocalciruditi, conglomerati in matrice sabbioso-siltosa e silicoareniti (BELLIA & PIPITONE, 2001), discordanti su tutti i terreni descritti in precedenza. La fauna è data da *Strombus bubonius* (LMK.) che permette di datare questi depositi al Tirreniano.

Depositi continentali olocenici

a) Depositi di travertini

Calcaro concrezionati bianco grigiastri, o giallognoli, da vacuolari a compatti, depositatisi in relazione a manifestazioni sorgentizie. In tali calcari si rinvengono impronte di resti vegetali e molluschi polmonati; localmente si notano zone ricche in pisoliti e/o oncoliti. Il principale sito d'affioramento è quello di Acqua dei Corsari (DE STEFANI, 1940; DE STEFANI, 1955) dove il travertino, è autoctono fitoermale e detritico fitoclastico (BUCCINO *et alii*, 1978; D'ARGENIO *et alii*, 1983; CONTINO *et alii*, 2003);

b) Depositi lacustri e palustri

Sono costituiti da sabbie fini e silts argillosi e torbosi, bruni o nerastri, con rari ciottoli centimetrici, potenti sino a 5 m, discordanti direttamente sulle «Argille Azzurre»;

c) Depositi alluvionali dell'Oreto

Costituiti da silts e da ghiaie e ciottoli polimittici (centi-decimetrici, talvolta metrici), in matrice sabbioso-siltosa, bruna o grigiastra presentano i maggiori spessori (50m) nel tratto terminale del fiume;

d) Prodotti eluviali e depositi colluviali

Costituiti da sabbie fini e silts argillosi di colore bruno-rossastro con lenti di ciottoli sub-arrotondati, centimetrici presentano i maggiori spessori (20 m) nei tratti terminali dei principali conoidi, al piede dei versanti montuosi.

e) Detriti di falda e di versante

Gli accumuli detritici più potenti si rinvengono nella porzione meridionale dell'area in studio; il detrito, prevalentemente calcareo-dolomitico, è eterometrico.

Materiali di riempimento e riporti

Presenti nell'area in studio, localmente anche con notevole spessore (circa 20m), derivano da stoccaggio di materiale bellico ed edilizio e da riempimento di cave abbandonate.

stratigrafico-geotecnico. La struttura di archiviazione elaborata per tale modulo, composta di due sezioni, una dedicata ai dati testuali, l'altra dedicata ai dati grafici, viene illustrata in Appendice.

La finestra di dialogo sistema-utente (fig. 3a) mostra i filtri che possono essere applicati sull'intero database stratigrafico.

Selezionando ad esempio la sigla AL (Depositi alluvionali), lo spessore minimo 8m, la profondità massima della falda 5m, il sistema visualizza (fig. 3b) gli elementi del database soddisfacenti contemporaneamente le condizioni imposte, permettendo di evidenziare, sulla carta selezionata (centro storico di Palermo), le zone caratterizzate dalla contemporanea presenza dei due fattori di pericolosità selezionati.

City-GIS ha favorito l'avvio e supportato l'esecuzione di numerose ricerche, alcune finalizzate allo studio e conoscenza dell'area palermitana (GIAMMARINARO *et alii*, 2000; GIAMMARINARO *et alii*, 2003a GIAMMARINARO *et alii*, 2005), altre, di carattere generale. Infatti il livello di dettaglio delle conoscenze disponibili sull'area ed il facile accesso ai dati, ha favorito la selezione di Palermo come area campione all'interno di alcuni progetti nazionali ed europei (CULTRERA *et alii*, 2004; CALDERONI *et alii*, 2005; DI GIULIO *et alii*, 2005; GIAMMARINARO *et alii*, 2001a; GIAMMARINARO *et alii*, 2003b; GIAMMARINARO *et alii*, 2003c). Determinante il ruolo di City-GIS nella scelta di Palermo quale test site all'interno del progetto SESAME («Site Effects Assessment using Ambient Excitations», Progetto European Commission, n° EVG1-CT-2000-00026; Coordinatore: Prof. Pierre Yves Bard).

City-GIS, inoltre, è ormai anche utilizzato da differenti Amministrazioni territoriali che nelle fasi progettuali relative ad importanti opere pubbliche.

CARTE TEMATICHE ELABORATE

Carta geologica dell'area

L'insieme dei dati derivanti da letteratura, dal rilevamento geologico effettuato e dal database stratigrafico disponibile ha permesso la redazione di una carta della geologia di superficie (fig. 4) che mostra la grande varietà dei terreni presenti nella zona in studio, le cui aree di pertinenza sono state identificate con grande risoluzione spaziale grazie all'abbondanza dei dati e allo strumento informatico realizzato.

Carta della profondità del tetto del Flysch Numidico

Utilizzando i 50 elementi del database stratigrafico intercettanti il Flysch Numidico interni all'area studiata (fig. 1b) è stato possibile elaborare la carta della profondità del tetto di tale formazione (fig. 5a) che, nella zona a maggiore urbanizzazione dell'area palermitana, costituisce il bedrock dei depositi quaternari.

L'area in cui è presente il Flysch Numidico è limitata, verso S e SE e verso SW, da una serie di faglie dirette separate al di sotto dei depositi pleistocenici. Queste faglie hanno svolto un marcato controllo sulla individuazione ed evoluzione del bacino sedimentario in cui si sono depositati i terreni pleistocenici.

La carta elaborata mostra un approfondimento del tetto del Flysch Numidico in direzione NW-SE, che supera i 100m, cui segue un innalzamento in direzione parallela alla costa sino all'affioramento (alto strutturale di Acqua dei Corsari), al limite orientale dell'area in esame.

In corrispondenza ad una porzione del fiume Oreto le curve di livello si dispongono in una struttura ellittica, con asse maggiore in direzione NE-SW, della lunghezza di circa 3 km. All'interno di tale struttura, controllata probabilmente dalla tectonica, il tetto del Flysch Numidico subisce un brusco approfondimento di almeno 40m.

L'area di assenza del Flysch Numidico è nella carta campita in grigio. La porzione in tonalità più chiara è caratterizzata dalla presenza dei depositi pleistocenici soprattutto i carbonati meso-cenozoici. Tali depositi sono assenti nella porzione campita con tonalità più scura.

Schema stratigrafico-strutturale e delle facies

La ricostruzione della geologia di superficie e del sottosuolo ha permesso la formulazione di uno schema stratigrafico e delle facies (fig. 5b) in cui vengono riassunti, in maniera semplificata, le seguenti peculiarità:

- i rapporti tra i depositi pleistocenici ed il substrato pre-quaternario;
- le varie litofacies del Pleistocene marino e continentale ed i loro rapporti geometrici.

L'analisi del database stratigrafico implementato in City-GIS evidenzia due settori:

- uno pedemontano, nel quale i depositi pleistocenici poggiano, in discordanza, direttamente sul substrato mesozoico (Dominio Imerese), dissezionato in blocchi ribassati dalla tectonica distensiva e denudato delle sue coperture terrigene del Flysch Numidico;

- uno costiero, nel quale i depositi pleistocenici poggiano, in discordanza, direttamente sul Flysch Numidico.

Un orizzonte (conglomerato di base) di limitato spessore, con variabile continuità laterale, costituito da conglomerati (o ghiaie) di facies litoranea, marca spesso la base della successione pleistocenica. Questi depositi passano lateralmente a sabbie ed a calcareniti, site generalmente in corrispondenza degli alti morfostrutturali.

Verso l'alto, sui depositi precedenti seguono direttamente le *Argille di Ficarazzi Auct.* del Pleistocene inferiore che possono poggiare sia sulle coperture terrigene del Flysch Numidico, sia sul substrato mesozoico. La successione è chiusa in alto da calcareniti (riferibili al Pleistocene inferiore: Siciliano) che passano lateralmente a facies litoranee, costituite da conglomerati e ghiaie con ciottoli ben appiattiti.

Sui sedimenti marini pleistocenici poggiano dei depositi continentali rubefatti di *alluvian fan* (sabbie, spesso quarzose, con lenti di ghiaie e/o conglomerati) con mammalofauna ad *Elephas mnaidriensis* del Pleistocene medio-superiore.

Nelle fasce a ridosso della costa, seguono i depositi calcarenitici e/o calciruditici del Pleistocene superiore p.p. (Tirreniano) che in alcune aree poggiano, in discordanza, direttamente sulle *Argille di Ficarazzi Auct.* Il tutto è ricoperto da depositi colluviali, lacustri e/o palustri, alluvionali e da travertini di età olocenica.

SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

Al fine di ricostruire le geometrie verticali e laterali dei differenti corpi litostratigrafici che costituiscono i depositi quaternari presenti nell'area indagata, sono state

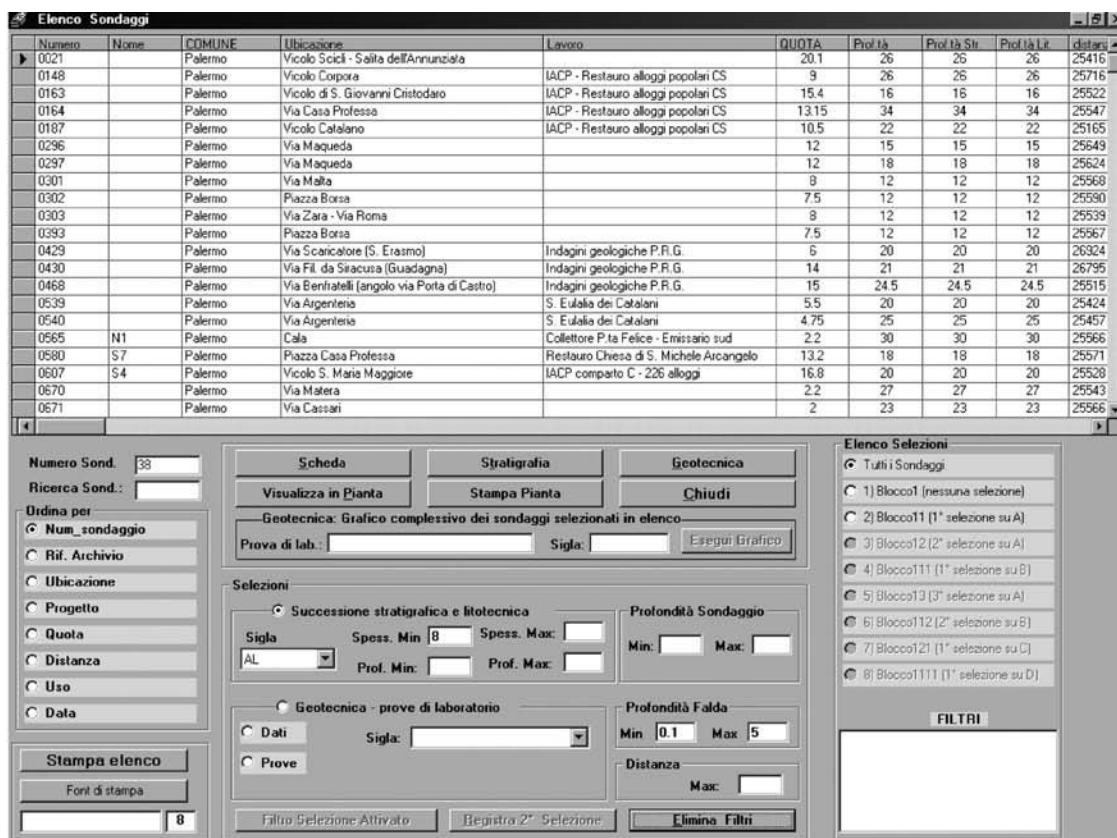


Fig. 3a - Esempio di interrogazione.
- Query example.

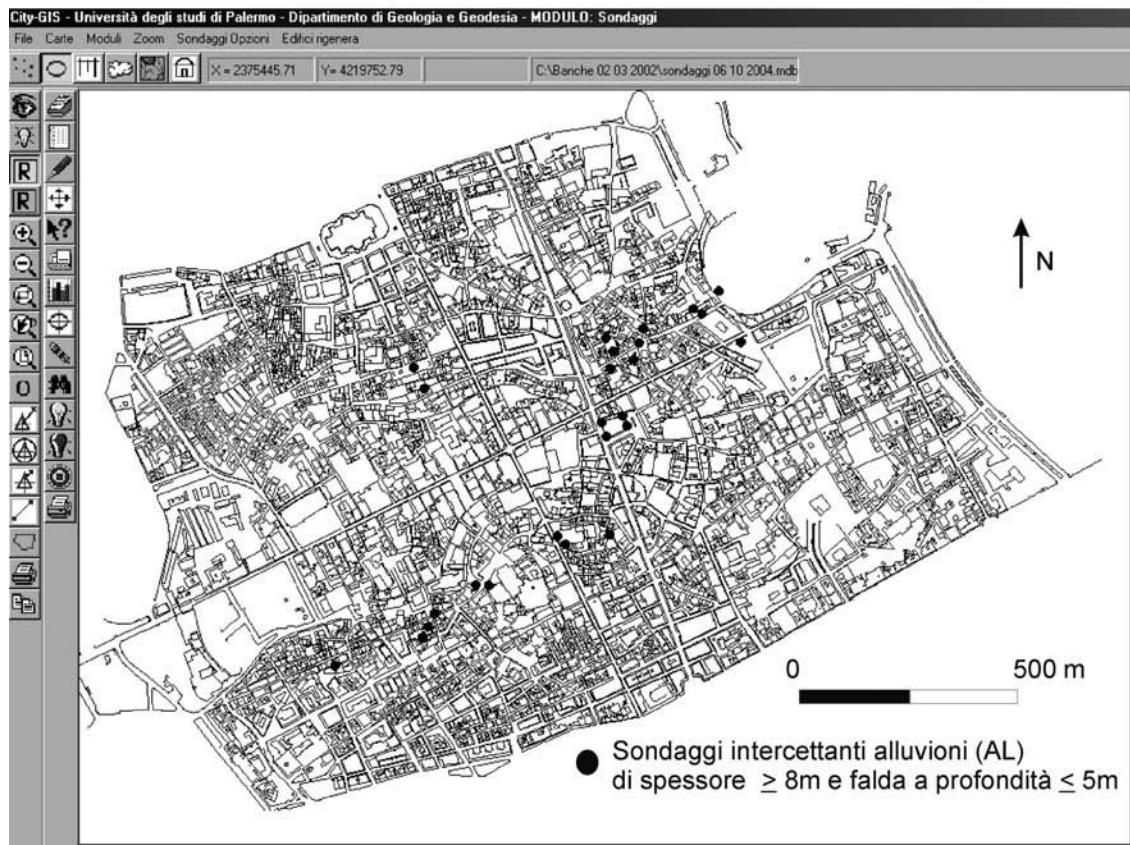


Fig. 3b - Visualizzazione degli elementi filtrati.
- Display of filtered elements.

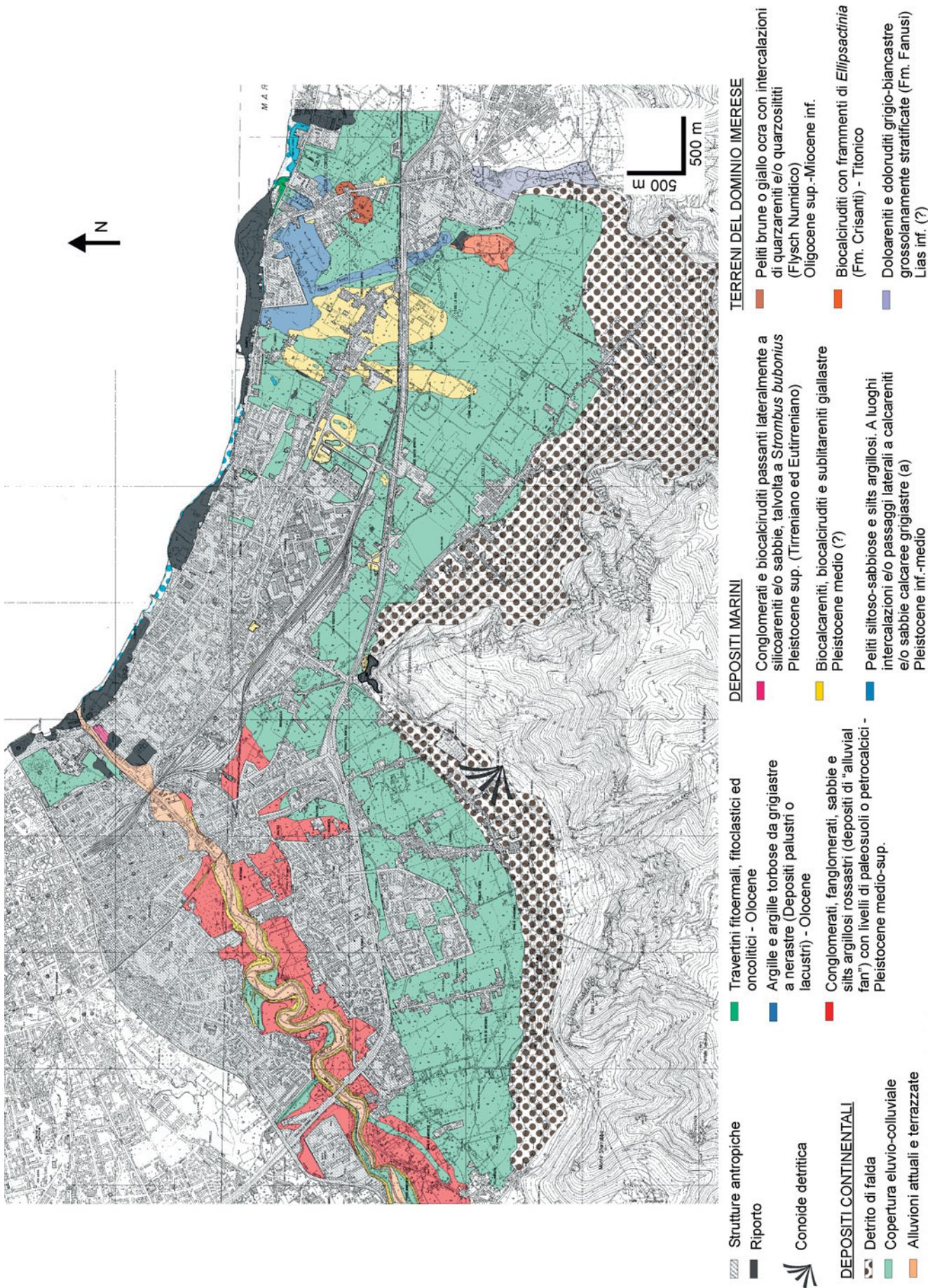


Fig. 4 - Carta della geologia di superficie.
- Surface geology map.

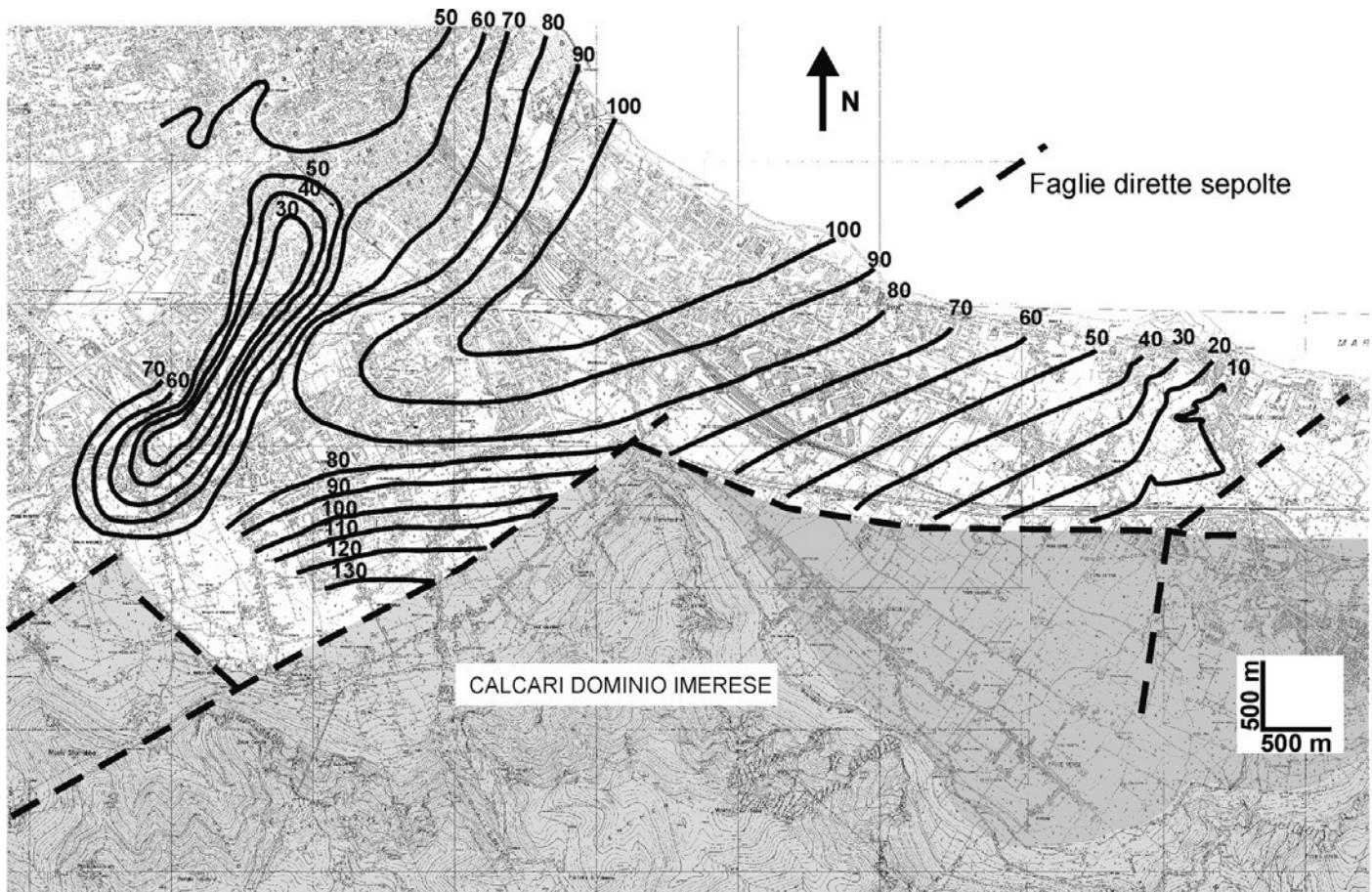


Fig. 5a - Carta della profondità del tetto del Flysch Numidico.
– Depth map of Numidian Flysch top.

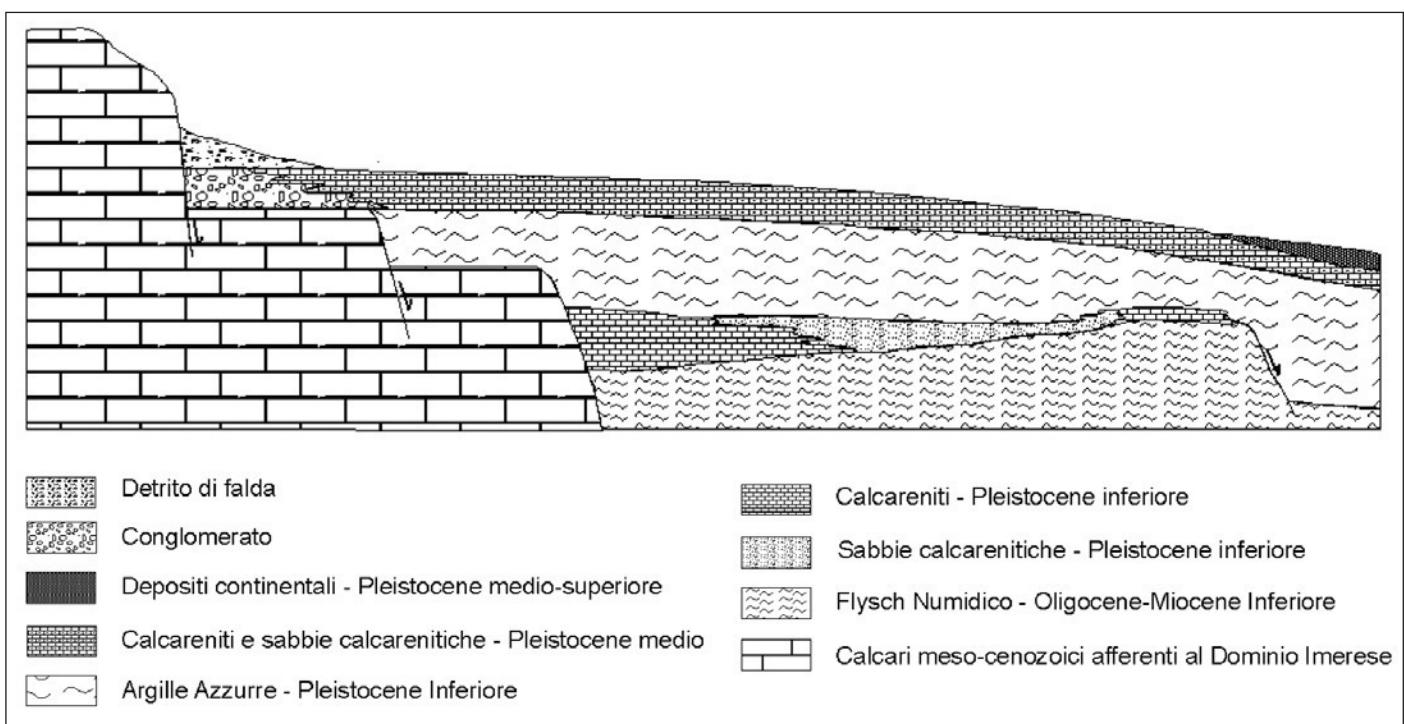


Fig. 5b - Schema stratigrafico e delle facies.
– Stratigraphy and facies sketch.

elaborate diverse sezioni litostratigrafiche. La scala delle altezze è stata decuplicata rispetto a quella orizzontale per ottenere una maggiore risoluzione.

Sezione D-G:

Si estende per una lunghezza di circa 7 km, con andamento, inizialmente, NW-SE e, successivamente, subparallelo alla costa. È stata elaborata utilizzando 48 elementi del database stratigrafico, pressocchè ricadenti sulla traccia.

Il modello geologico è dato dalla successione Flysch Numidico, «Argille Azzurre» e calcareniti ed alla sommità riporti.

In corrispondenza del fiume Oreto viene intercettato il corpo dei depositi alluvionali.

Da notare, ai due estremi della sezione, due corpi di calcareniti che poggiano direttamente sul substrato numidico. Ciò è stato interpretato come un passaggio laterale tra le due litofacies calcareniti / «Argille Azzurre»: le prime costituirebbero la facies più prossimale, le seconde quella più distale.

Il Flysch Numidico mostra, inoltre, un trend di progressiva risalita verso est, sino ad affiorare nell'alto morfologico, sito in corrispondenza del limite orientale della sezione.

Sezione A-C:

La sezione, con sviluppo parallelo alla costa e lunghezza di circa 5,3 km, è stata elaborata utilizzando 34 elementi del database stratigrafico, relativi a sondaggi, pressocchè ricadenti sulla traccia, di profondità variabile tra i 10 e i 60m.

La sezione illustra l'andamento in profondità dei depositi alluvionali dell'Oreto ed evidenzia la totale erosione delle calcareniti pleistoceniche, sino alle sottostanti «Argille Azzurre».

Il modello geologico dell'area ad est dell'Oreto è descritto dalla successione «Argille Azzurre»-calcareni su cui si impostano, a luoghi, i depositi marini del Pleistocene superiore, in questa zona costituiti da facies sabbiosolimosa e conglomeratica.

Nel tratto finale del profilo si evidenzia la presenza di un alto del substrato numidico, legato probabilmente all'esistenza di faglie che hanno controllato l'apertura e l'evoluzione del bacino. Nell'alto del numidico i sondaggi intercettano facies di soglia che danno origine ad un corpo prevalentemente calcarenitico, sito alla base dei depositi pleistocenici, mentre con il successivo approfondimento del bacino si depongono le «Argille Azzurre». Su queste ultime, in discordanza, seguono i depositi marini conglomeratici del Pleistocene superiore.

Sezione O-P:

La sezione, avente lunghezza di 1,4 km, si sviluppa con orientamento NW-SE e interseca le sezioni A-C e D-G. Il profilo è stato elaborato utilizzando 9 elementi del database stratigrafico con profondità comprese tra 15 e 30 metri.

In direzione N-S si osserva la brusca risalita del tetto del Flysch Numidico (legata probabilmente alla presenza di una faglia diretta) che arriva ad affiorare in località Acqua dei Corsari. Al di sopra del Flysch Numidico si rinvengono pochi lembi di calcareniti pleistoceniche. La sezione evidenzia la presenza di materiale di riporto legato al riempimento di cave abbandonate.

Nel settore NNW, le calcareniti sono in parte ricoperte, in discordanza, dai depositi conglomeratici del Pleistocene superiore (un tempo cavati) e da materiale di riporto. Spesso i depositi del Pleistocene superiore poggiano direttamente sulle «Argille Azzurre», analogamente a quanto osservato nel tratto terminale della sezione A-C.

Sezione K-L:

Sviluppata trasversalmente alla linea di costa, ha lunghezza di circa 1 km.

Elaborata utilizzando 5 elementi del database stratigrafico relativi a sondaggi aventi profondità variabile tra 10 e 25 m, la sezione evidenzia la morfologia irregolare del tetto delle «Argille Azzurre» che presenta un marcato approfondimento in direzione NE. Nel tratto finale del profilo vengono intercettati i depositi marini conglomeratici del Pleistocene superiore, discordanti sulle calcareniti del Siciliano. Alla sommità vi sono riporti potenti in media circa 5m.

Sezione H-J:

Elaborata utilizzando 20 elementi del database ha una lunghezza di circa 2,3 km e si sviluppa con orientamento SW-NE. Nell'alto morfostrutturale del Flysch Numidico si rinvengono facies di soglia, conglomeratiche e calcarenitiche, seguite dalla normale successione Argille azzurre/Calcareni siciliane.

In direzione della costa si ha il brusco abbassamento del tetto del Flysch Numidico, controllato probabilmente dalla tettonica distensiva, che crea lo spazio sufficiente per la deposizione di un notevole spessore di terreni pleistocenici, qui rappresentati dalla successione conglomerato basale/«Argille Azzurre»/Calcareni del Siciliano. Nell'ultimo tratto della sezione seguono, in discordanza, depositi marini del Pleistocene superiore, che sono stati cavati. Le cave sono state riempite da accumuli di materiali di riporto. Nella sezione sono state evidenziate delle cavità di origine antropica che hanno sviluppi verticali dell'ordine dei 2-3 metri.

STIMA DELLA VELOCITÀ DELLE ONDE S DA MISURE GEOTECNICHE EFFETTUATE SU CAMPIONI PRELEVATI NELL'AREA INVESTIGATA

Su campioni prelevati a differente profondità, in corrispondenza a circa metà dei sondaggi meccanici utilizzati per costituire il database stratigrafico, sono state eseguite indagini geotecniche.

I dati geotecnicici (contenuto naturale d'acqua, limite di plasticità, porosità, densità) e i risultati delle prove di laboratorio (analisi granulometrica, modulo di Young, taglio diretto), forniti da tali indagini hanno permesso di stimare i campi di variabilità esibiti dalle principali proprietà fisiche e dai parametri di resistenza meccanica e deformabilità dei terreni presenti nell'area investigata, pervenendo ad una classificazione litotecnica degli stessi (CANZONERI *et alii*, 2002).

Nell'area indagata le Argille Azzurre, litotecnicamente, sono prevalentemente sabbie limose (SL), i depositi alluvionali limi (L).

Misure del modulo di Young hanno dato valori compresi tra 9600MPa e 14000MPa per i depositi calcarenitici, che nell'area mostrano ricca varietà di facies, da molto compatta a friabile, tra 2 e 20MPa per terreni della classe

SL, tra 2 e 10 MPa per terreni della classe L, con comportamento saturante con la profondità rispettivamente a 20 e 10MPa.

I valori di densità misurati su numerosi campioni di Calcareniti, Argille Azzurre e Depositi Alluvionali, prelevati nell'area in esame, danno un valore medio di densità di 2,1 g/cm³ per le calcareniti, 1,9 g/cm³ per le sabbie limee e 1,4 g/cm³ per i limi.

La velocità di propagazione delle onde S è legata al modulo di rigidità (m) e alla densità (r) dalla relazione:

$$V_S = (\mu/r)^{1/2} \quad (1)$$

Il modulo di rigidità, a sua volta, è legato al modulo di Young (E) e al modulo di Poisson (s) dalla relazione:

$$\mu = E/[2(1+s)] \quad (2)$$

Mediante queste relazioni, utilizzando i valori medi di densità ed i campi di variabilità per il modulo di Young ottenuti relativamente a Calcareniti, Argille Azzurre e Depositi Alluvionali, è possibile pervenire ad una stima del campo di variabilità, atteso nell'area investigata, per la velocità di propagazione delle onde S nei tre citati litotipi. Assumendo per il modulo di Poisson valori compresi tra 0,2 e 0,25 si ottiene un valore di V_S compreso tra 1300 e 500m/s per le Calcareniti ed un valore compreso tra 100m/s e 20m/s per le Argille Azzurre e per i Depositi Alluvionali.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Dalla ricostruzione della geologia di superficie e di sottosuolo emerge che:

a) nell'area in esame sopra il Flysch Numidico si rinvengono, in successione, Argille Azzurre, calcareniti e riporto; quest'ultimo, presente particolarmente lungo la fascia costiera (fig. 4), può raggiungere localmente notevoli spessori. Tale porzione della città ha infatti subito rilevanti modificazioni antropiche, fra cui un rapido e consistente avanzamento della linea di costa, a spese della spiaggia, prodotto dall'accumulo di riporto (macerie belliche del secondo conflitto mondiale, sfabbricidi e scarti di materiale edile);

b) Calcareniti ed Argille Azzurre presentano, nell'area in esame, una grande variabilità di spessore, da pochi metri a varie decine di metri;

c) Il modello di successione cambia nella zona interessata dal fiume Oreto per la presenza dei depositi alluvionali. Tali depositi, aventi anche spessore dell'ordine di 40-50m, vengono rinvenuti sia soprastanti i depositi calcarenitici (sezione DG, fig. 6), sia soprastanti le Argille Azzurre (sezione AC, fig. 6).

V_{S30}, valore medio della velocità di propagazione delle onde S negli ultimi 30 metri al sito, è definito dalla relazione:

$$V_{S30} = 30/\sum (h_n/v_n) \quad (3)$$

con la somma fatta sugli strati, e h_n e v_n, rispettivamente, spessore e velocità dell'onda S nello strato n-esimo.

Come illustrato dalle sezioni D-G e A-C, nell'area in esame sono presenti ampie zone, in cui i primi 30m, a parte pochi metri di riporto, sono interamente costituiti da calcareniti, che pertanto controllano il parametro V_{S30}.

e sono altresì presenti ampie zone in cui invece, avendo le calcareniti piccolo spessore, inferiore a 10m, tale parametro è controllato dalle Argille Azzurre.

Il progetto (SCEC), promosso dal Southern California Earthquake Center e finalizzato ad identificare gli attributi che predispongono un sito a maggiori o minori livelli di scuotimento, ha confermato, utilizzando come area di studio la California,

che mappe di zonazione della grandezza V_{S30} permettono un riconoscimento speditivo delle zone di una area propense, per la locale geologia di superficie, ad essere interessate da effetti di sito, consentendo prime stime dell'entità di tali effetti. (SCEC, PHASE III, 2000).

Sistemi internazionali di codifica (1997, Uniform Building Code (UBC); 2000, International Building Code, (IBC)) adottano uno schema di classificazione dei siti che prevede una suddivisione degli stessi in 6 classi A, B, C, D, E, F rispettivamente corrispondenti a rocce molto coerenti, rocce, terreni molto addensati e rocce poco coerenti, terreni addensati, terreni sciolti, terreni speciali richiedenti indagini dedicate (FIELD & THE SCEC PHASE III WORKING GROUP, 2000). Nell'area investigata non sono presenti siti di classe A e F.

Il valore assunto da V_{S30} in corrispondenza al sito ne determina la classe di appartenenza, secondo le seguenti corrispondenze:

Classe B	V _{S30} compreso tra 760m/s e 500m/s
Classe C	V _{S30} compreso tra 500m/s e 360m/s
Classe D	V _{S30} compreso tra 360m/s e 180m/s
Classe E	V _{S30} < 180m/s.

Da registrazioni strumentali, acquisite in corrispondenza a terreni appartenenti alle differenti classi, sono stati valutati, relativamente alla California, i fattori correttivi di amplificazione esibiti dalla risposta spettrale in accelerazione al sito.

Un'amplificazione della risposta spettrale in accelerazione da 2,5 a 3,2, con il valore più basso a corto periodo (0,2s) e il più alto a lungo periodo (1s), è stato stimato (FIELD, 2000) in corrispondenza a siti della classe E (V_{S30} < 180m/s).

La variabilità di spessore e di facies esibita dalle calcareniti ed i valori ottenuti tramite la relazione (1) per le velocità di propagazione delle onde S nelle Calcareniti e nelle Argille Azzurre determinano la presenza, nel settore meridionale della città di Palermo, di zone che esibiscono propensione a effetti di sito di rilevante entità, poiché il rapporto tra gli spessori delle Calcareniti e delle Argille Azzurre che le caratterizza, come si evidenzia dalle sezioni riportate in fig. 6, determina in esse valori di V_{S30} < 180m/s.

Un affidabile database stratigrafico-geotecnico, dotato di elevata risoluzione spaziale, gestito da un GIS che consente interrogazioni, semplici e condizionate, su spessori e proprietà meccaniche, costituisce un importante strumento di supporto alla definizione delle zone caratterizzate da un valore di V_{S30} < 180m/s.

A tale scopo l'area è stata suddivisa in maglie a geometria quadrata con lato di 500m e, con il supporto di City-GIS, sono state riconosciute:

a) le maglie, contraddistinte in fig. 7 dalla tonalità più chiara di grigio, nelle quali sono presenti terreni prevalentemente descritti da una successione litotecnica che vede calcareniti nei primi 30m;

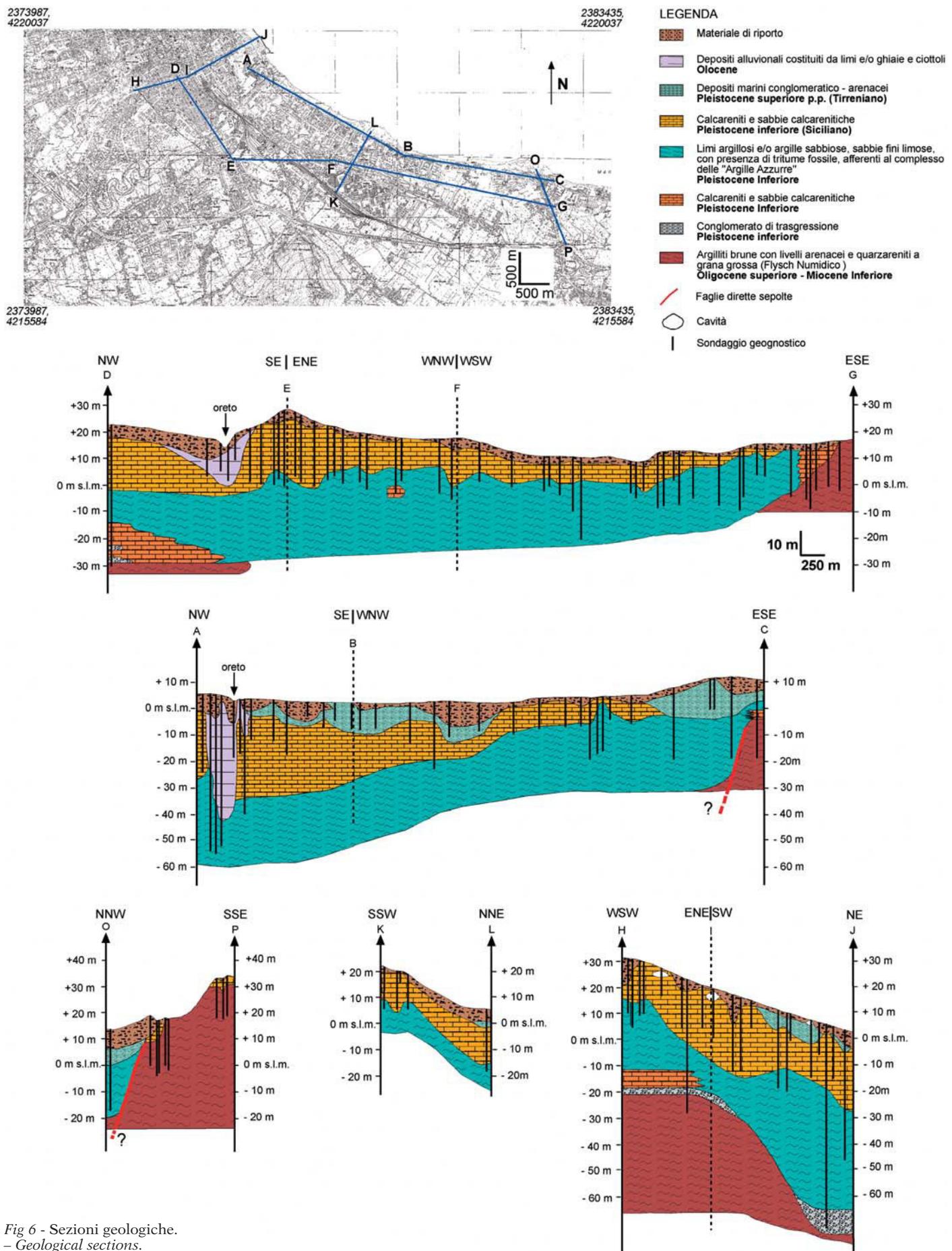


Fig 6 - Sezioni geologiche.
- Geological sections.

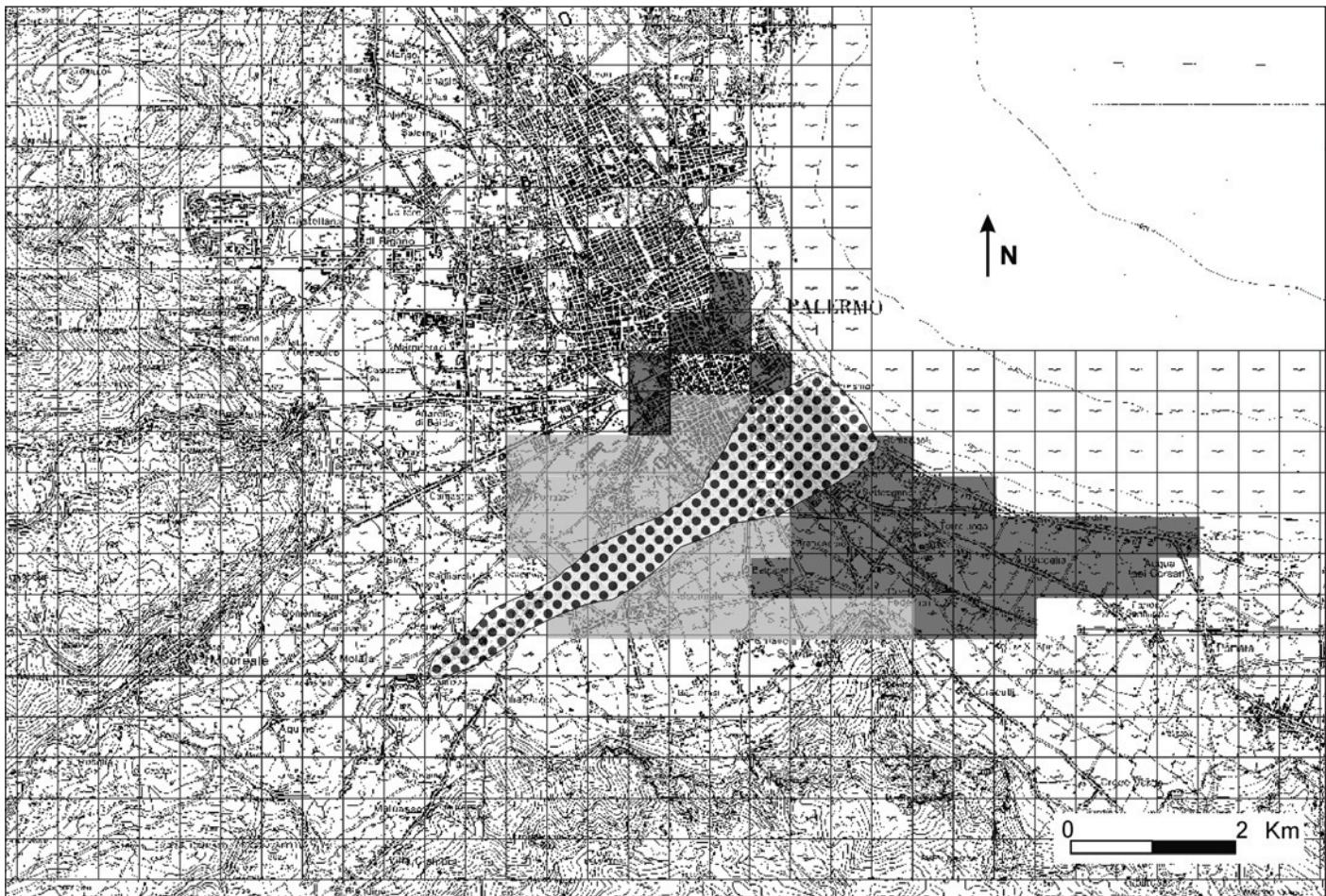


Fig. 7 - Zonazione dell'area investigata.
– Study area zonation.

b) le maglie, contraddistinte in fig. 7 dalla tonalità più scura di grigio, nelle quali sono presenti terreni prevalentemente descritti da una successione litotecnica che vede, dopo pochi metri di calcareniti, Argille Azzurre;

c) le maglie o porzioni di maglie interessate dai depositi alluvionali del fiume Oreto; queste definiscono una zona del settore meridionale, estesa circa $0,85 \text{ km}^2$, di seguito, per brevità, denominata zona Oreto, contraddistinta in fig. 7 da una campitura a punti, nella quale sono presenti terreni descritti da una successione litotecnica che vede, soprattanto i depositi calcarenitici, spesso totalmente erosi, grossi spessori di depositi alluvionali.

A seguito del sisma del 6 settembre 2002 il Dipartimento Regionale di Protezione Civile ha promosso una campagna di rilevamento del danno. Tale campagna è stata condotta utilizzando un sistema di schedatura del danno, articolato in nove sezioni (scheda AeDES). La prima di tali sezioni è finalizzata ad identificare ed ubicare i punti da cui sono pervenute le richieste di verifica di agibilità.

Tali punti sono stati georeferenziati e l'intero database del danneggiamento, trasferito dalla Protezione Civile al Dipartimento di Geologia e Geodesia, è stato implementato in City-GIS, dopo avere ampliato il sistema con lo sviluppo di un modulo dedicato alla gestione del nuovo tematismo.

È stato così possibile confrontare il numero delle richieste di verifica pervenute dalle diverse parti della città ed, in particolare, dal settore meridionale.

Dall'insieme di maglie i cui terreni sono, in prevalenza, caratterizzati da presenza di calcareniti nei primi 30m (tonalità più chiara di grigio in fig. 7) sono pervenute 399 richieste di verifica di agibilità, contro le 595 pervenute dall'insieme delle maglie i cui terreni registrano invece calcareniti di piccolo spessore (campite in grigio scuro in fig. 7). Tale incremento del 50% sul numero delle richieste di verifica pervenute non trova giustificazione nella piccola diversità esistente nell'estensione areale fra le due zone differentemente campite.

I tecnici che hanno effettuato i sopralluoghi conseguenti alle richieste pervenute hanno rilevato, inoltre, la presenza di 502 elementi strutturali danneggiati ricadenti all'interno delle maglie campite in grigio chiaro, contro i 748 ricadenti all'interno delle maglie campite in grigio scuro. Queste ultime sono perciò, anche sulla base dei primi risultati forniti dalle analisi del livello di danneggiamento prodotto dal sisma del settembre 2002, attese essere interessate da effetti di sito, in accordo con quanto ottenuto sulla base dell'andamento spaziale della grandezza V_{S30} .

Effetti di sito di maggiore entità sono attesi in zona Oreto, per la presenza in essa di due fattori di pericolosità

sismica: un alto valore del contrasto di impedenza acustica (>4) e un basso valore di V_{S30} . In accordo il database relativo al livello di danneggiamento contiene 174 richieste di verifica di agibilità pervenute da tale zona e indica 248 elementi strutturali danneggiati ricadenti all'interno di tale zona.

CONCLUSIONI

In corrispondenza alle aree urbane, a causa dei molti interventi che in esse si eseguono, esiste sempre una grande quantità di dati concernenti le proprietà geologico-fisico-meccaniche dei terreni presenti. Le molte e diversificate fonti di provenienza rendono però tali dati affetti da disomogeneità ed incoerenze che conferiscono agli stessi un basso livello di affidabilità.

Ciò limita la possibilità di un loro utilizzo, sia a supporto di interventi da eseguire sul territorio, sia a supporto di ricerche finalizzate alla caratterizzazione del rischio nell'area o di carattere generale.

Il difficile accesso a tali dati, dispersi in molti, differenti archivi cartacei, pone ulteriori limitazioni all'utilizzazione degli stessi.

Un lungo lavoro di raccolta, lettura e revisione di tali dati, eseguito da parte di ricercatori specialisti del settore, consente l'elaborazione di database affidabili e ad elevata risoluzione spaziale.

L'implementazione di tali database in un GIS fornisce la possibilità di un veloce e facile accesso agli stessi e permette una crescita delle informazioni acquisibili. La funzione «overlay», propria del GIS, consente infatti la sovrapposizione di database relativi a differenti tipologie di dati e la conseguente estrazione delle informazioni derivanti dalle mutue relazioni spaziali esistenti tra i database in esame. Questo tipo di lavoro è stato eseguito relativamente all'area palermitana e ha avuto molteplici ricadute quali:

1) crescita delle conoscenze concernenti la geologia di superficie presente nell'area e l'andamento spaziale di alcuni fattori di pericolosità sismica;

2) attenzione rivolta da progetti internazionali che hanno selezionato Palermo come test site per l'esecuzione di campagne di misura e per la validazione di risultati;

3) interesse da parte di Amministrazioni territoriali, alcune delle quali ormai, per prassi, utilizzano il sistema nella fase progettuale degli interventi da realizzare sul territorio.

I vantaggi che derivano dal disporre, relativamente ad un'area urbana, di un sistema quale City-GIS vengono illustrati nel contesto di uno studio di dettaglio del settore meridionale della città, un settore di recente urbanizzazione e perciò ancora in fase di sviluppo, interessato da anomalie nella distribuzione del danno prodotto dall'attività sismica del settembre 2002.

La disponibilità di un database stratigrafico-geotecnico affidabile e ad elevata risoluzione spaziale, la sua gestione mediante City-GIS ed i conseguenti vantaggi derivanti in termini di accesso, visualizzazione e filtraggio dei dati hanno permesso una ricostruzione, ad elevato dettaglio, degli andamenti spaziali delle geometrie e delle proprietà meccaniche dei terreni presenti nel settore meridionale della città.

All'interno del settore sono state riconosciute e definite due zone interessate da una geologia di superficie favorevole alla generazione di effetti di sito.

Questi, nell'area in esame, sono riconducibili a due fattori di pericolosità sismica:

a) un alto valore del contrasto di impedenza acustica (>4), nella zona interessata dai depositi alluvionali del fiume Oretto;

b) un basso valore di V_{S30} ($<180\text{m/s}$) nella porzione orientale del settore, determinato da un locale assottigliamento delle calcareniti e dal basso valore di velocità delle onde S nel sottostante litotipo.

La possibilità di visualizzare e interrogare contemporaneamente, su cartografia georeferenziata, database differenti (database stratigrafico-geotecnico e database del danneggiamento prodotto dal sisma del 6 settembre 2002) ha permesso di verificare l'ottima coincidenza spaziale tra le zone interessate dai descritti effetti di sito e quelle interessate da anomalie nella distribuzione del danno e del risentimento.

APPENDICE

La struttura di archiviazione elaborata per il modulo di City-GIS finalizzato alla gestione del tematismo stratigrafico-geotecnico, denominato modulo «Sondaggi», consiste di due sezioni, una dedicata ai dati testuali, l'altra dedicata ai dati grafici.

La sezione dedicata ai dati testuali derivanti da un sondaggio prevede la suddivisione di tali dati in più tabelle, aventi come chiave primaria l'identificativo del sondaggio. Tali tabelle sono:

TAB «Sondaggi» contiene i campi per la registrazione di dati concernenti fonte di provenienza, data e ditta di esecuzione del sondaggio e caratteristiche dello stesso quale quota, profondità, profondità falda eventualmente intercettata;

TAB «Strati» contiene i campi per la registrazione dei dati stratigrafici (spessori e sigle dei terreni intercettati);

TAB «Accorpamento» contiene i campi per la registrazione di nuove sigle in accorpamento e delle relazioni tra le sigle relative a stratigrafie in dettaglio e in accorpamento; la modifica di criteri di raggruppamento da parte dell'utente produce dinamicamente l'aggiornamento delle colonne stratigrafiche in accorpamento;

TAB «Dati Geotecnici» contiene i campi per registrare informazioni generali (sigla, profondità) riguardanti campioni, prelevati in un sondaggio, su cui sono state eseguite indagini geotecniche.

TAB «Prove Geotecniche» contiene i campi per registrare il risultato fornito dalla specifica prova di laboratorio eseguita (analisi granulometrica, prova edometrica, ecc.).

Il programma dispone di una finestra grafica fornita da DbGIS dove le informazioni grafiche vengono riprodotte in forma vettoriale su una base cartografica georeferenziata sia in formato raster che vettoriale.

Le tabelle dedicate ai dati grafici sono:

TAB «GR_Sondaggi» contiene le informazioni per la rappresentazione grafica del sondaggio. Le coordinate identificative, espresse nel sistema Gauss Boaga permettono la localizzazione dell'elemento in modo georiferito. La rappresentazione del sondaggio sotto forma di blocco permette di visualizzare un simbolo distinguibile per forma, colore e attributi per la creazione di carte tematiche.

TAB «GR_Strati e TAB GR_Accorpamento» contengono gli elementi per visualizzare in modo automatico, in dettaglio o in accorpamento, la colonna stratigrafica in formato DWG; la retinatura della colonna stratigrafica è assicurata da una macro sviluppata. Strumenti di stampa e di esportazione permettono di esportare il DXF della colonna stratigrafica.

TAB «GR_Prove Geotecniche» popolate elaborando le informazioni provenienti dalle tabelle (analisi granulometrica, prova edometrica, ecc..) permettono di visualizzare in grafico il risultato fornito dalla specifica prova di laboratorio.

La struttura complessiva del modulo ha consentito di produrre facilmente interrogazioni semplici e condizionate utili per definire l'andamento spaziale della geometria e delle proprietà meccaniche dei differenti corpi stratigrafici, l'andamento della falda.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il Prof. R. Catalano per il costante incoraggiamento e supporto dato alle ricerche svolte, gli ingegneri V. Canzoneri, S. Maiorana, preziosi collaboratori sul fronte geotecnico e informatico, l'ingegnere L. Santoro, responsabile del servizio sismico regionale - Sicilia.

Lavoro eseguito con fondi del Ministero Università e Ricerca ex 60% 2000, 2001, 2002 (M.S. Giamarinaro) e legge 488/92, delibera Cipe 08/08/96 (R. Catalano).

OPERE CITATE

- ABATE B., CATALANO R. & RENDA P. (1978) - *Schema geologico dei monti di Palermo (Sicilia)*. Boll. Soc. Geol. It., **97**, 807-819.
- AVELLONE G. & BARCHI M. (2003) - *Le pieghe minori nelle Unità Imeresi e Trapanesi dei Monti di Palermo e il loro significato nell'evoluzione tettonica dell'area*. Boll. Soc. Geol. It., **122**, 277-294.
- AZZARA R.M., ALLETTI M., CULTRERA G., D'ANNA G., D'ANNA R., DI GIULIO G., GIAMMARINARO M.S., PASSAFUME L., ROVELLI A. & VALLONE P. (2003) - *Variations of ground motion in the city of Palermo observed during aftershocks of the September 6, 2002, ML 5.6 earthquake*. Geophys. Res. Abs., **5**, 10406-10407.
- BELLIA S. & PIPITONE G.M. (2001) - *Proposta per la definizione di un geotopo di Pietra Molara: La Cava Battaglia di Acqua dei Corsari (Palermo)*. Il Naturalista Siciliano, **25** (1), 27-43.
- BUCCHERI G. (1984) - *Pteropods as climatic indicators in Quaternary sequences a Lower-Middle Pleistocene sequence outcropping in Cava Puleo (Ficarazzi, Palermo Italy)*. Palaeo, **45** (1), 75-86.
- BUCCINO G., D'ARGENIO B., FERRERI V., BRANCACCIO L., FERRERI M., PANICHI C. & STANZONE D. (1978) - *I travertini della Bassa Valle del Tanagro (Campania). Studio geomorfologico, sedimentologico e geochemico*. Boll. Soc. Geol. It., **97**, 617-646.
- CAFLISCH L. (1966) - *La geologia dei monti di Palermo*. Riv. Ital. Paleont. Strat. Mem. **12**.
- CALDERONI G., ROVELLI A., CULTRERA G., AZZARA R.M. & DI GIULIO G., (2005) - *Assessment of ground motions in Palermo (Italy) during the September 6, 2002 Mw 5.9 earthquake*. Bull. Seism. Soc. Am., **95** (6), 2342-2363.
- CANZONERI V., GIAMMARINARO M.S., GUGLIUZZA G. & VALLONE P. (2002) - *Area urbana palermitana: analisi delle proprietà geotecniche dei terreni supportata da tecnologia GIS in Opere Geotecniche in Ambiente Urbano*. Patron Editore Bologna, 37-44.
- CATALANO R., ABATE B. & RENDA P. (1979) - *Carta Geologica dei Monti di Palermo scala 1:50.000 e note illustrate*. Istituto di Geologia, Università degli Studi di Palermo, STASS Palermo.
- CATALANO R. & DI MAGGIO C. (1996) - *Sovraposizione tettonica delle unità imeresi sulle panormidi nei Monti di Palermo (Sicilia)*. Il Naturalista Siciliano, **20** (4), 147-166.
- CIPOLLA F. (1931) - *Cave di argilla per laterizi in Sicilia*. Boll. Ass. Min. Sic., **7** (1-4), 31-35, tav. 1, Palermo.
- CONTINO A., GIAMMARINARO M.S. & VARSALONA S. (2003) - *Settore sud orientale della città di Palermo: studio stratigrafico-geotecnico della porzione non interessata dai depositi alluvionali dell'Oreto*. Geologi di Sicilia (3), 9-24.
- CULTRERA G., AZZARA R.M., CARA F., D'ANNA R., DI GIULIO G., GIAMMARINARO M.S., PASSAFUME G., ROVELLI A. & VALLONE P. (2004) - *Microtremor measurements in Palermo, Italy: a comparison with macroseismic intensity and earthquake ground motion*. Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, Canada, Paper no 915.
- D'ARGENIO B., FERRERI V., STANZONE D., BRANCACCIO L. & FERRERI M. (1983) - *I travertini di Pontecagnano (Campania) geomorfologia, sedimentologia, geochemica*. Boll. Soc. Geol. It., **102**, 123-136.
- DE STEFANI T. (1940) - *Nuove osservazioni riguardanti la stratigrafia della Conca d'Oro (Palermo)*. Boll. Soc. Sc. Nat. e Econ. di Palermo, **22**, Palermo.
- DE STEFANI T. (1955) - *Notizie preliminari sul rilevamento geologico del F. 250, Bagheria*. Boll. Soc. dei Naturalisti in Napoli, **64**, Napoli.
- DI GIULIO G., AZZARA R.M., CULTRERA G., GIAMMARINARO M.S., VALLONE P. & ROVELLI A. (2005) - *Effect of Local Geology on Ground Motion in Palermo, Italy, as Inferred from Aftershocks of the 6 September 2002 Mw 5.9 Earthquake*. Bull. Seism. Soc. Am., **95** (6), 2328-2341.
- DI MAGGIO C., INCANDELA A., MASINI F., PETRUSO D., RENDA P., SIMONELLI C. & BOSCHIAN G. (1999) - *Oscillazioni eustatiche, bio-cronologia dei depositi continentali quaternari e neotettonica nella Sicilia nord-occidentale*. Il Quaternario, **12**, 25-50.
- DI STEFANO E. & RIO D. (1981) - *Biostratigrafia a nannofossili e bio-cronologia del Siciliano nella località tipo di Ficarazzi*. Acta Naturalia dell'Ateneo Parmense, **17**, 97-111.
- FIELD E.H. (2000) *Accounting for site effects in probabilistic seismic hazard analysis of southern California*. SCEC Phase III Report, Bull. Seism. Soc. of Am., **90** (6B), 1-31.
- FLORIDIA G.B. (1956) - *Notizie sul sottosuolo della città di Palermo*. Riv. Min. Siciliana n° 39.
- GEMMELLARO M. (1909) - *Escurzione al giacimento fossilifero di Ficarazzi presso Palermo eseguita dalla Società Geologica Italiana il 7 settembre 1909*. Boll. Soc. Geol. It., **28**, 39-48.
- GIAMMARINARO M.S., GUIDOBONI E., MAIORANA S., MARIOTTI D. & ROVELLI A. (2001a) - *A GIS System as a tool for the integrated analysis of geological data and seismic effect: historical Centre of Palermo*. IEEE Catalog number 01EX482 - Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, 288-292.
- GIAMMARINARO M.S. & MAIORANA S. (2001b) - *Un'applicazione GIS sviluppata su un modello dei dati orientato ai tematismi della geologia urbana*. Riassunti 3^o Forum Italiano di Scienze della Terra, 284-285.
- GIAMMARINARO M.S. & MAIORANA S. (2001c) - *City GIS: una applicazione GIS dedicata ai sistemi urbani*. Geologi di Sicilia (3), 21-25.
- GIAMMARINARO M.S., CANZONERI V., SPOTORNO R., SULLI A. & CATALANO R. (2000) - *Historical Centre of Palermo: effects of the lithotechnical successions on the bulk contribution to seismic response*. Mem. Soc. Geol. It., **55**, 439-447.
- GIAMMARINARO M.S., CANZONERI V., VALLONE P. & ZUCCARELLO A. (2003a) - *Effects of the September 6th, 2002 earthquake: damage amplification in the south/eastern sector of Palermo explained through GIS technology*. Annals of Geophysics, **46**, 119-131.
- GIAMMARINARO M.S., ALLETTI M., AZZARA R. M., CANZONERI V., MAIORANA S., ROVELLI A., TERTULLIANI A. & VALLONE P. (2003b) - *Natural hazard assessment through an oriented GIS*. Geophysical Research Abstracts, **5**, 12961-12962.
- GIAMMARINARO M.S., MAIORANA S. & VALLONE P. (2003c) - *A GIS application for Historical-Monumental Heritage*. Proceedings 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, (I), 204-206.
- GIAMMARINARO M.S., TERTULLIANI A., GALLI G. & LETA M. (2005) - *Investigation on surface geology and intensity variability in the Palermo (Italy) urban area after the September 6, 2002 earthquake*. Bulletin of the Seismological Society of America, **95** (6), 2318-2327.
- GIGNOUX M. (1913) - *Les formations marines Pliocenes et Quaternaires de l'Italie du Sud et de la Sicilie*. Ann. De l'Univ. de Lyon n.s. fasc. 36, Paris.
- GUIDOBONI E., MARIOTTI D., GIAMMARINARO M.S. & ROVELLI A. (2003) - *Identification of amplified damage zones in Palermo, Sicily (Italy) during the earthquakes of the last three centuries*. Bull. Seism. Soc. of Am., **93** (4), 1649-1669.
- OTTMANN F. & PICARD J. (1954) - *Contribution à l'étude du Quaternaire des régions de Palerme et de Milazzo (Sicile)*. Bull. Soc. Geol. de France, s. 6, **4**, fasc. 4-6, Paris.
- RUGGIERI G. (1993) - *Ricerche paleontologiche sul Siciliano dello Sperrone (Palermo)*. Naturalista Siciliano, s. IV, **17** (1-2), 23-31.
- RUGGIERI G. & SPROVIERI R. (1975) - *Ricerche sul Siciliano di Palermo: le argille del fiume Oreto*. Boll. Soc. Geol. It., **94**, 1613-1622.
- RUGGIERI G. & SPROVIERI R. (1977) - *A revision of Pleistocene stratigraphy*. Geologica Romana, **16**, 131-139.
- SCEC Phase III Report (2000) - Bull. Seism. Soc. Am., **61**, entirely devoted special issue.