



COSTRUZIONE DI UN MODELLO 3D IN AREE URBANE ATTRAVERSO L'ANALISI DI LOG STRATIGRAFICI

IL CASO STUDIO DI PALERMO

Alessandro Canzoneri, Maurizio Gasparo Morticelli, Mauro Agate, Attilio Sulli

Dipartimento delle Scienze della Terra e del Mare (DiSTeM)
Università degli Studi di Palermo

Sommario

1. INTRODUZIONE	3
2. ASSETTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO DELL'AREA DELLA PIANURA DI PALERMO..	4
3. IL DATASET DI LOG STRATIGRAFICI DEL SOTTOSUOLO DI PALERMO.....	6
4. COSTRUZIONE DEL MODELLO 3D DELLA PIANA DI PALERMO NELL'AREA DEL FIUME ORETO.....	10
5. APPLICAZIONI DEL DATASET E DEL MODELLO 3D.....	17
6. BIBLIOGRAFIA.....	19

1. INTRODUZIONE

La ricostruzione del modello geologico tridimensionale del sottosuolo delle aree urbane è uno studio di grande importanza per diversi aspetti legati alla definizione delle peculiarità geologiche delle aree fortemente antropizzate, alla definizione degli studi per la pianificazione di piani di protezione civile, alla salvaguardia dei beni monumentali. Infatti, un modello 3D fornisce indicazioni utili sulle geometrie dei copri geologici presenti nel sottosuolo nelle aree urbane e può essere utilizzato per evidenziare i settori che possono essere soggetti a rischi geologici. Le linee guida dal titolo “Costruzione di un modello 3D in aree urbane attraverso l'analisi di *log* stratigrafici; il caso studio di Palermo” presentano un caso applicativo di costruzione di un modello geologico tridimensionale (superfici e volumi) del sottosuolo dell'area urbana di Palermo. Questa area, situata nella Sicilia Nord Occidentale (rettangolo rosso in Figura 1A) è un settore molto urbanizzato (Figura 1B) ospitando la quinta città in Italia per numero di abitanti. Nel presente elaborato viene brevemente presentato il modello geologico dell'area della piana di Palermo. DI seguito viene presentato il database di *log* stratigrafici costruito dal Dipartimento delle Scienze della Terra e del Mare (DiSTeM) dell'Università di Palermo evidenziandone le caratteristiche peculiari. Successivamente viene presentata la ricostruzione di un modello geologico 3D della piana di Palermo con maggiore dettaglio al settore prossimo al fiume Oreto. Vengono infine brevemente descritti i principali campi applicativi per i quali il dataset messo a disposizione ed il modello ricostruito possono essere utilizzati e sfruttati nel campo della ricerca, della progettazione e della implementazione delle comuni conoscenze del sottosuolo delle aree urbane.



Figura 1 - Ubicazione dell'area di studio (A) e vista della piana di Palermo (B).

2. ASSETTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO DELL'AREA DELLA PIANURA DI PALERMO

La pianura palermitana presenta un'estensione massima di circa 6 km ed una altitudine compresa tra 0 m e 150 m.s.l.m. La piana, anche conosciuta con il nome di “Conda d'Oro”, si trova tra il Mar Tirreno a Nord ed i rilievi montuosi dei monti di Palermo (Monte Cuccio, Monte Caputo, Cozzo Meccini, Monte Orecchiutta, Monte Grifone) presenti a Sud. Questi ultimi si sviluppano principalmente lungo un allineamento NS, nel settore occidentale, e lungo un andamento NW-SE nel settore orientale della pianura. Da un punto di vista strutturale il settore in esame è situato all'interno del margine settentrionale della Sicilia occidentale, area appartenente alla cintura orogenetica alpina vergente a SE e le montagne che circondano la pianura palermitana sono infatti espressione topografica della cintura orogenetica denominata Appennino – Maghrebide (CATALANO *et al.*, 2013 b). Come visibile in Figura 2 (CANZONERI *et al.*, 2025) gran parte della piana di Palermo è densamente occupata dalla fitta rete urbana cittadina (rappresentata in grigio in Figura 2) che in buona parte maschera le principali litologie presenti in questo settore della Sicilia Nord-occidentale. In Figura 3 è invece mostrata una rappresentazione schematica e sintetica di una colonna stratifica tipo dei depositi presenti nella pianura palermitana (AGATE *et al.*, 2017).

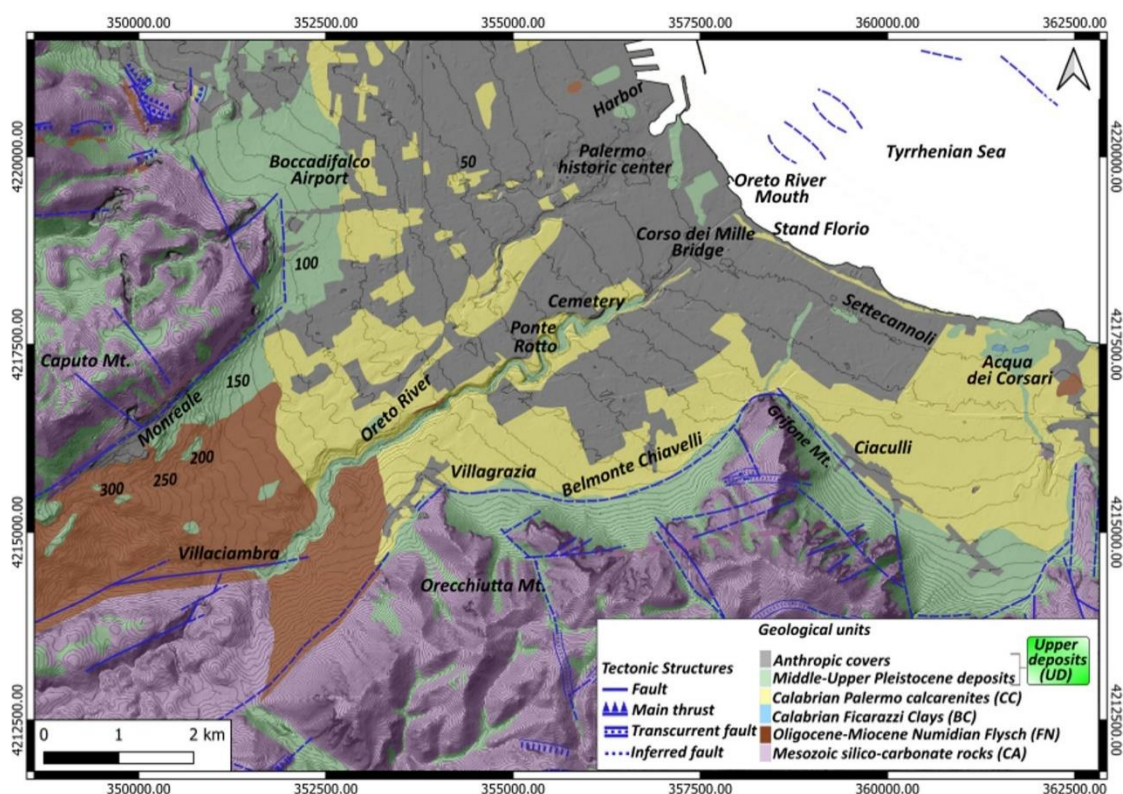


Figura 2 - Carta geologica del settore Sud della piana di Palermo (Modificato da Canzoneri *et al.* 2025).

I rilievi montuosi sono costituiti dalle successioni prevalentemente carbonatiche del Triassico superiore-Oligocene (“CA” in Figura 2) e dalla successione terrigena del Flysch Numidico dell’Oligocene – Miocene Inferiore (“FN” in Figura 2); tali litologie (raggruppate con “1” in Figura 3) sono anche presenti al di sotto della piana come descritto da diversi *log* stratigrafici che raggiungono profondità superiori a cento metri realizzati nelle aree pianeggianti (CAPPADONIA *et al.*, 2020). Una striscia continua di conoidi alluvionali Pleistoceniche è il collegamento tra le montagne e la pianura. Nell’area della pianura, le litologie più antiche sopramenzionate sono ricoperte da una

successione calabriana localmente limitata alla base dalla presenza di corpi conglomeratici di spessore metrico (“2” in Figura 3). La successione quaternaria sovrastante è per più costituita da litotipi di natura carbonatica classificabili come areniti e depositi di taglia argillosa e sabbiosa. Questi depositi spessi da pochi metri a decine di metri affiorano in una vasta area della pianura (INCARBONA *et al.*, 2016). Questo contesto stratigrafico è il risultato di una trasgressione marina che ha interessato questo settore della Sicilia a partire dal Pleistocene. Questi depositi di copertura costituiscono il sintema di Marsala (“BC” e “CC” in Figura 2) e giacciono sulle più antiche unità meso–cenozoiche con forti discordanze angolari. (AGATE *et al.*, 2017). Il Sintema di Marsala, nello specifico, è composto da argille di colore tendente all’azzurro (“argille di Ficarazzi”; RUGGIERI E SPROVIERI, 1975; “3” e “4” in Figura 3) e da depositi sabbiosi variamente cementati e biocostruiti (“Calcareniti di Palermo”; “5” in Figura 3). Al di sopra di queste rocce prettamente marine possono affiorare anche i conglomerati costieri e le sabbie del “Sintema di Buonfornello-Campofelice” del Pleistocene medio (“6” in Figura 3); seguono i Sintemi di “Polisano” (“7” in Figura 3), “Barcarello” (“8” in Figura 3) e “Raffo Rosso” (“9” in Figura 3); questi ultimi, a cui è stata attribuita un’età relativa al Pleistocene superiore, sono costituiti da conglomerati e arenarie variamente cementate e depositi colluviali di ambiente costiero (CAPPADONIA *et al.*, 2020). I depositi olocenici sono presenti lungo la costa e all’interno dell’attuale rete idrografica (“Sintema di Capo Plaia”; “10” in Figura 3).

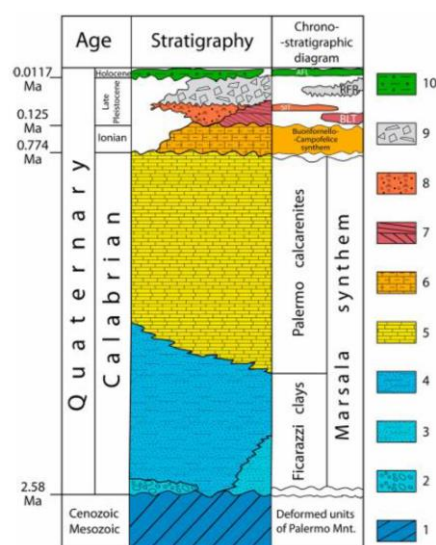


Figura 3 -Stratigrafia dell’area della piana di Palermo (Agate *et al.*, 2017); 1 - Rocce carbonatiche e terrigene del basamento Meso-Cenozoico; 2 - Conglomerati; 3 - Sabbie marine; 4 - Limi argillosi grigiastri; 5 - Calcareniti e sabbie bioclastiche; 6 -Conglomerati costieri; 7 - Areniti eoliche (Sintema di Polisano - BLT) ; 8 - Conglomerati costieri, areniti e depositi colluviali cementati (Sintema di Barcarello - SIT); 9 - Breccie cementate supportate da clasti (Sintema di Raffo Rosso - RFR); 10 - Deposito di frane colluviali, fluviali, litorali e terrestri (Sintema di Capo Plaia- AFL).

3. IL DATASET DI LOG STRATIGRAFICI DEL SOTTOSUOLO DI PALERMO

Il Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare dell'Università di Palermo (DISTEM) ha nel corso degli ultimi venti anni implementato un database che raccoglie una vasta raccolta di stratigrafie di pozzo. Il database, inizialmente sviluppato in ambiente GIS, è stato progettato per essere in continua implementazione, dinamico e facilmente accessibile (GIAMMARINARO *et al.*, 2001). In passato il database ha promosso e sostenuto l'esecuzione di numerose ricerche focalizzate sullo studio e la comprensione dell'area palermitana (GIAMMARINARO *et al.*, 2003; GIAMMARINARO *et al.*, 2006) ed è stato utilizzato da diverse Amministrazioni territoriali nelle fasi progettuali che hanno riguardato importanti opere pubbliche.

I dati inseriti nel database, ad oggi pari a 2591 stratigrafie di pozzo, sono stati forniti da enti pubblici, istituti di ricerca e aziende private. La posizione dei sondaggi raccolti, presenti all'interno del database, è mostrata nella Figura 4.

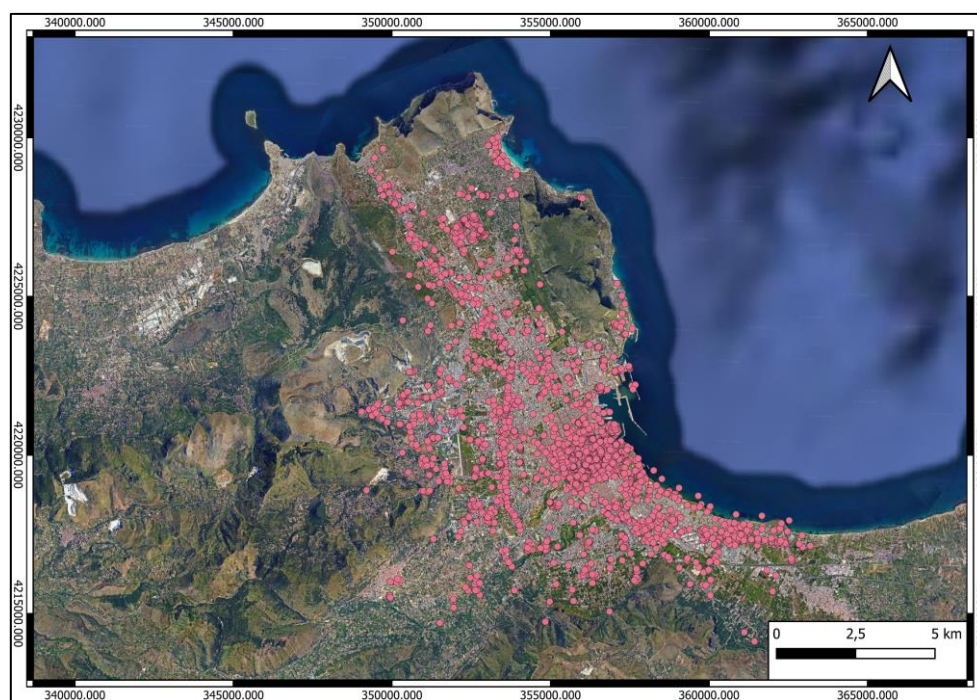


Figura 4 - Ubicazione dei sondaggi relativi alla piana di Palermo presenti del database.

La creazione del dataset è stata organizzata e sviluppata attraverso una attenta opera di classificazione delle caratteristiche litologiche e facies dei depositi presenti nella piana di Palermo intercettati nei sondaggi raccolti (GIAMMARINARO *et al.*, 2001, 2003, 2006). I dati presenti nelle originarie stratigrafie raccolte nel tempo da diverse fonti sono risultati particolarmente eterogenei; per tale ragione i dati sono stati sottoposti ad una meticolosa opera di omologazione e catalogazione delle litologie; questo processo ha portato alla definizione di 88 distinte facies attribuite agli strati presenti nei sondaggi consultati. La classificazione riguarda tutti i depositi presenti nel sottosuolo di Palermo, dalle rocce mesozoiche del substrato sino ai depositi del Pleistocene ed Olocene; sono state anche classificate le recenti coltri ed i materiali di natura antropica presenti nelle porzioni più superficiali della piana. L'elenco delle 88 facies definite, che sono state raggruppate in 25 categorie di depositi (Figura 5A), è riportato in una apposita "Codelist", inserita all'interno di un file ".csv", dove ad ogni descrizione è associata una sigla, come visibile in Figura 5B dove sono riportate le prime trenta

descrizioni in ordine alfabetico presenti nella *Codelist*; esempi: (DOc) Dolomie cataclastiche (FNb) Flysch Numidico marnoso o argilloso compatto; (AAs) "Argille Azzurre" con prevalenza di sabbie e sabbie fini; (CBn) Calcareni nodulari del settore settentrionale; (TE) Terre rosse; (ALf) Alluvioni con prevalenza di matrice pelitica (argille, limi, sabbie fini); (MC) Materiali di colmata.

AA	Argille azzurre	1	AAc	"Argille Azzurre" con livelli di calcareniti grigie
AL	Alluvioni	2	AAf	"Argille Azzurre" con prevalenza di silt e silt argillosi
CAV	Cavità antropica	3	AAg	"Argille Azzurre" con prevalenza di ghiaie
CB	Calcareni e sabbie del settore settentrionale	4	AAs	"Argille Azzurre" con prevalenza di sabbie e sabbie fini
CD	Calcarei dolomitici	5	AAt	"Argille Azzurre", porzione alterata
CG	Calcareni e sabbie del settore meridionale	6	AAz	Silt argillosi e argille siltose sabbiose grigiastre con locali intercalazioni di calcareniti grigiastre (presenti in zona Zen)
CO	Colluvi	7	AL	Alluvioni generiche
CT	Conglomerati	8	ALc	Alluvioni cementate, terrazzi alluvionali
DM	Sedimenti marini tirreniani	9	ALf	Alluvioni con prevalenza di matrice pelitica (argille, limi, sabbie fini)
DO	Dolomie	10	ALg	Alluvioni a prevalente granulometria ghiaiosa e superiore
DT	Detrito di falda	11	ALt	Alluvioni fini con abbondante sostanza organica (livelli di torbe)
EO	Depositi eolici	12	ALT	Alluvioni fini con abbondante sostanza organica (livelli di torbe)
FN	Flysch Numidico	13	CAV	Cavità antropica
IPO	Cavità naturale	14	CBa	Calcareni e sabbie calcaree
LA	Depositi lacustri	15	CBc	Calcareni in banchi e strati centimetrici e decimetrici
M	Depositi antropici	16	CBf	Calcareni friabili
PE	Prodotti eluviali	17	CBfc	Calcareni friabili alternate a calcareniti più cementate
PL	Paleosuolo	18	CBg	Sabbie grosse e ghiaietto calcareo
RR	Radiolariti	19	CBi	Sabbie con rari livelli cementati
SC	Fm. Scillato	20	CBi	Sabbie calcaree fini e silt con rari frammenti calcarenitici
Sea	Mare	21	CBn	Calcareni nodulari
SM	Sabbie marine attuali	22	CBo	Alternanza di calcareniti nodulari e sabbie
TE	Terre rosse	23	CBp	Sabbie fini con rari noduli
TR	Travertino	24	CBr	Calciruditi con presenza di micro vuoti
TV	Terreno vegetale	25	CBs	Sabbie calcaree
		26	CBt	Porzione superficiale alterata frammentata a terreno vegetale o terre rosse
		27	CBv	Limi sabbiosi verdastri
		28	CDc	Calcarei dolomitici compatti
		29	CDf	Calcarei dolomitici fratturati
		30	CGa	Calcareni e sabbie calcaree
		31	CGc	Calcareni in banchi e strati centimetrici e decimetrici
		32	CGf	Calcareni friabili
		33	CGfc	Calcareni friabili alternate a calcareniti più cementate
		34	CGg	Sabbie grosse e ghiaietto calcareo
		35	CGi	Sabbie con intercalati rari livelli cementati
		36	CGl	Sabbie fini e silt con rari frammenti calcarenitici

Figura 5 - Elenco delle 25 categorie litologiche presenti nel database (A); Estratto della Codelist delle 88 sigle che descrivono le facies presenti nel database (B).

I dati presenti all'interno del database sono stati inseriti all'interno di un *geopackage* "Database Palermo_utm" consultabile in ambiente GIS. Come visibile in Figura 6, aprendo il *geopackage* viene visualizzata, come uno *shapefile* puntuale, la posizione dei sondaggi; la relativa tabella attributi fornisce indicazioni relative a: progressivo del dataset (fid), nome del sondaggio (NAME), profondità totale del sondaggio (TOTAL_DEPT), quota (ELEVATION), coordinate nel sistema di proiezione "WGS84/UTM 33N (EPSG:32633)" (EASTING e NORTHING) ed il collegamento ipertestuale all'immagine relativa ad ogni singolo sondaggio (HYPERLINK).

All'interno del *geopackage* è presente anche una tabella correlata visualizzabile all'apertura del file in ambiente GIS; consultando tale tabella (Figura 7A) sono forniti i seguenti attributi: progressivo del dataset (fid), nome del sondaggio (NAME), quota di tetto (DEPTH_FROM) e quota di letto (DEPTH_TO_B) di ogni singolo strato presente nel sondaggio. Viene inoltre riportata la sigla descrittiva della litologia presente nello strato del sondaggio (SIGLE). Come esempio viene riportata la stratigrafia dall'altro verso il basso del sondaggio "1" profondo 18 m; la descrizione dei 5 strati nei quali è stato suddiviso, evidenziati in rosso nella tabella di Figura 7B:

Strato 1: MR_ Materiali di riporto indistinti; profondità 0 m a 5 m;

Strato 2: TV_ Terreno vegetale bruno; profondità 5 m a 6 m;

Strato 3: CGo_ Alternanze di calcareniti pseudonodulari e sabbie fini calcaree; profondità 6 -15 m;

Strato 4: CGi_ Sabbie con intercalati rari livelli cementati; profondità 15-16,2 m;

Strato 5: AAs_ "Argille Azzurre" con prevalenza di sabbie e sabbie fini; profondità 16,2- 18 m.

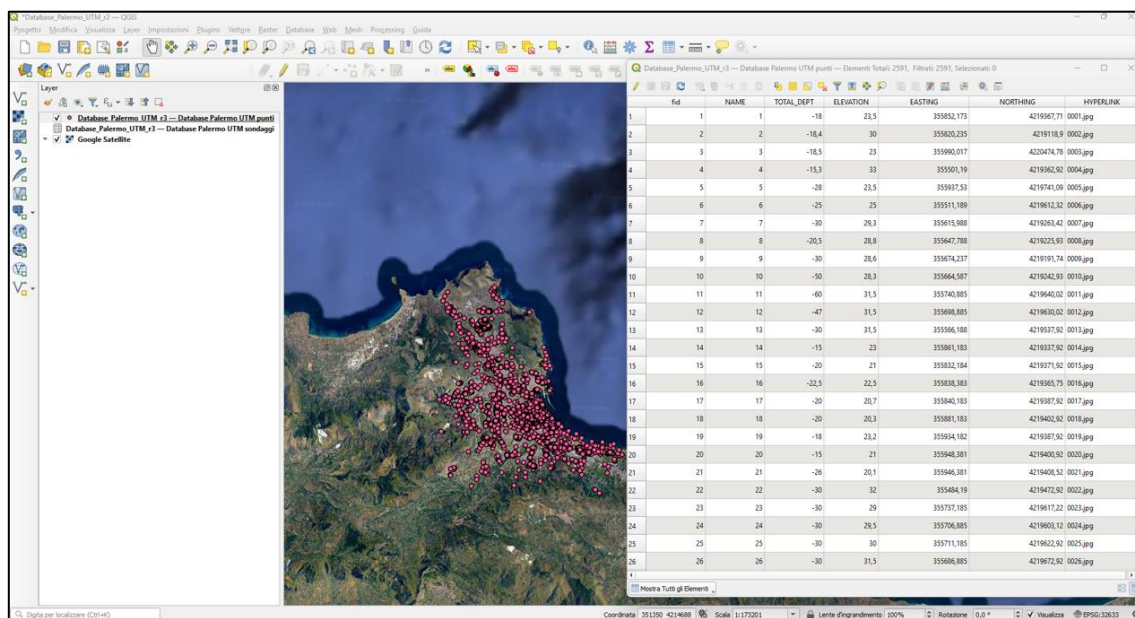


Figura 6 - Geopackage dei dati puntuali proiettati in ambiente GIS e tabella attributi dello shapefile puntuale.

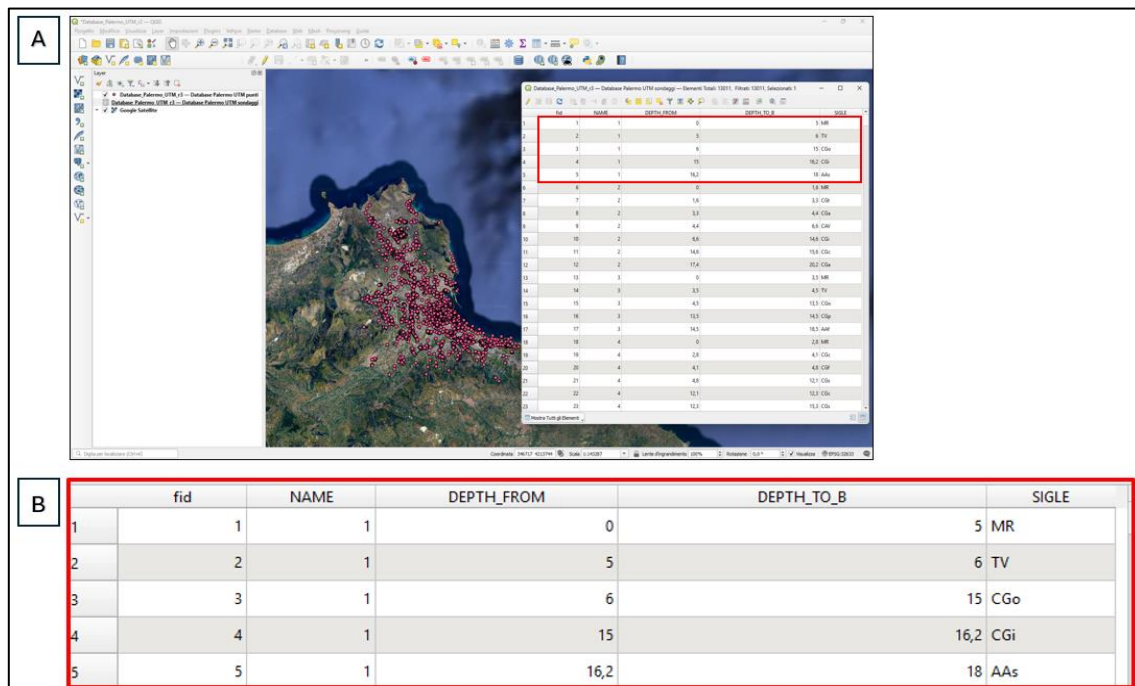


Figura 7 - Tabella correlata e relativa tabella attributi (A); elementi della tabella attributi relativi al sondaggio "1".

Consultando il database inoltre è possibile visualizzare le colonne stratigrafiche di sintesi relative associate ad ogni sondaggio cliccando sull'*hyperlink* presente nella tabella attributi dello *shapefile* puntuale. Gli esempi relativi ai sondaggi "1" e "429" sono riportati in Figura 8 e Figura 9. Nelle stratigrafie, oltre alle informazioni già precedentemente elencate, sono anche riportate le aree urbane

nelle quali i sondaggi sono stati realizzati, gli spessori di ogni singolo strato e la profondità della falda.

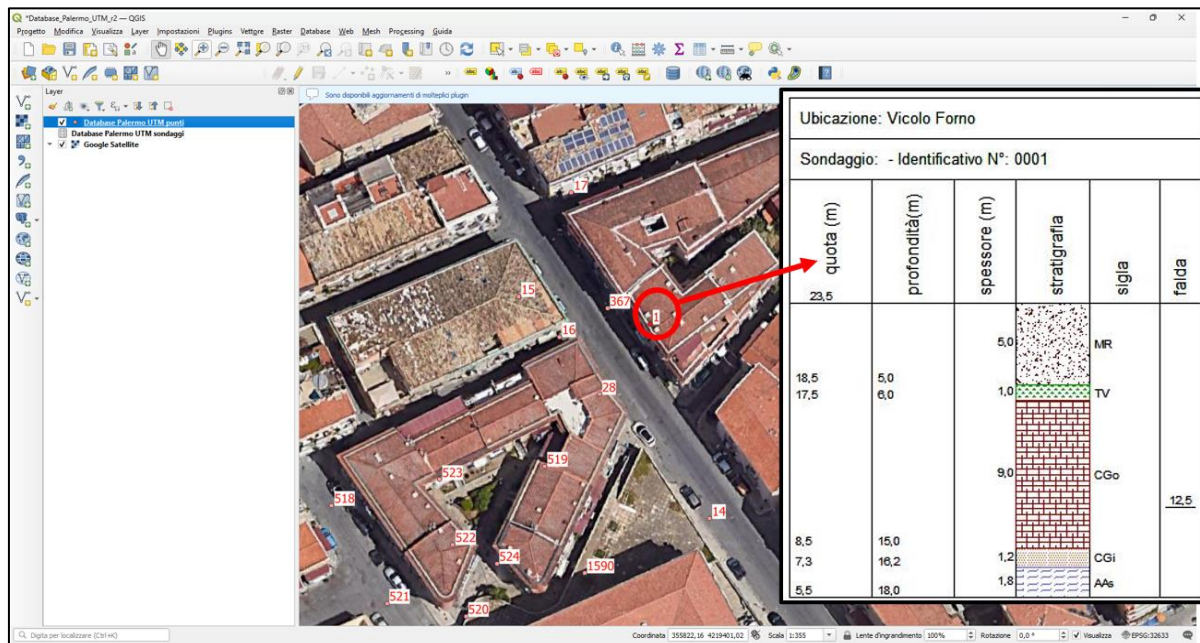


Figura 8 - Ingrandimento dell'immagine satellitare (Google Satellite) nel settore ove è ubicato il sondaggio "1" e stratigrafia di sintesi legata all'hyperlink.

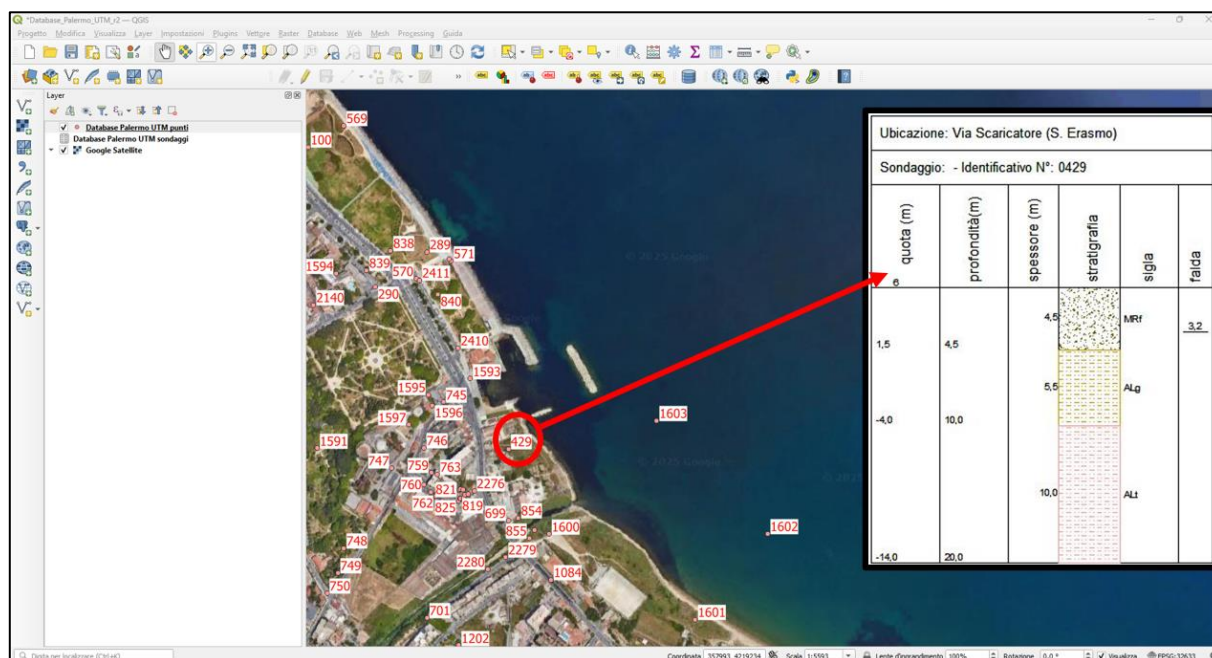


Figura 9 - Ingrandimento dell'immagine satellitare (Google Satellite) nel settore ove è ubicato il sondaggio "429" e stratigrafia di sintesi legata all'hyperlink.

4. COSTRUZIONE DEL MODELLO 3D DELLA PIANA DI PALERMO NELL'AREA DEL FIUME ORETO

I dati presenti nel database sono stati in parte soggetti ad uno studio di dettaglio mirato alla ricostruzione tridimensionale del sottosuolo dell'area urbana di Palermo afferente al centro storico della città ed all'area più vicina al Fiume Oreto. In particolare, dal database è stato estratto un totale di 1404 stratigrafie la cui ubicazione è mostrata in Figura 10. I sondaggi analizzati, che presentano una profondità variabile tra 2 e 170 m, rientrano nel settore compreso tra la costa tirrenica ad Est ed i comuni di Altofonte e Monreale ad Ovest. Il confine settentrionale dell'area studiata è rappresentato da uno dei principali assi viari della città che collega la zona portuale alla circonvallazione cittadina; il confine meridionale è la borgata cittadina denominata “Acqua dei Corsari”.

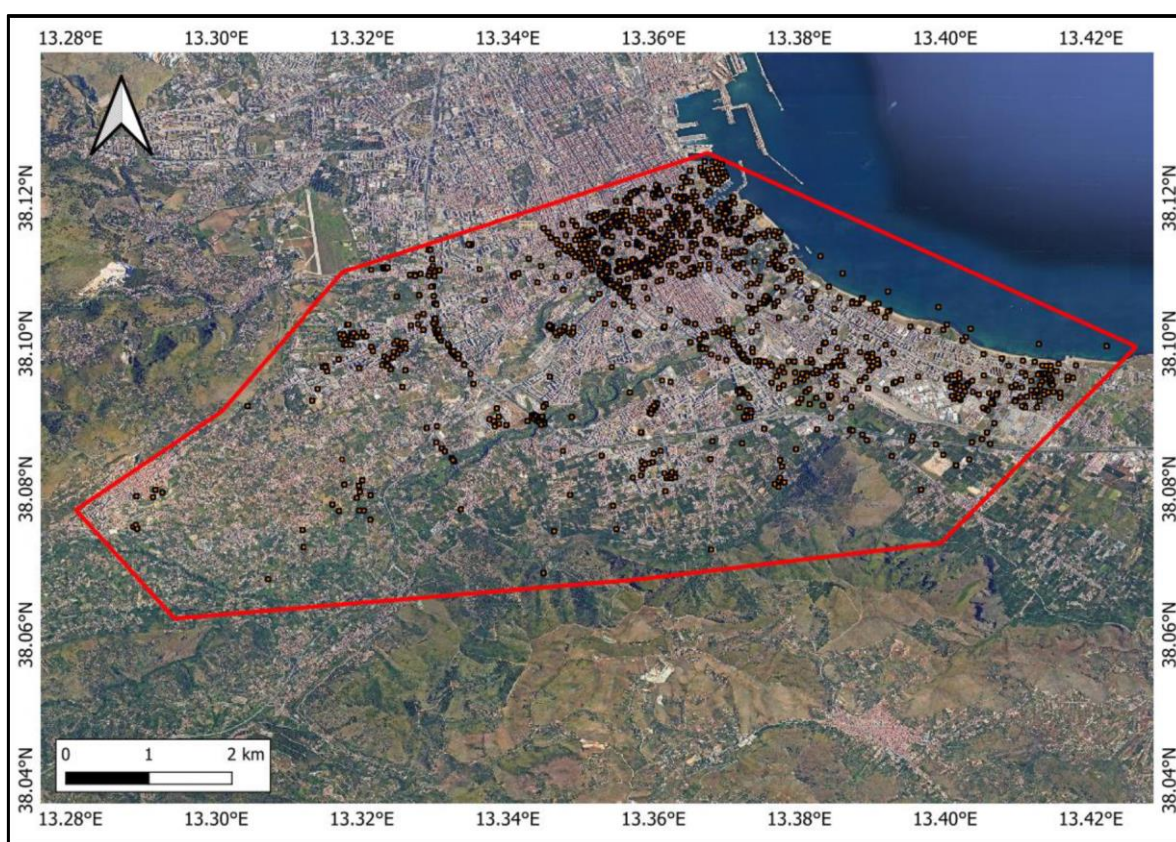


Figura 10 - Ubicazione dei sondaggi analizzati per la costruzione del modello 3D (rettangoli arancioni) e limiti del settore analizzato (linea rossa).

I dati presenti riguardanti i singoli strati descritti nelle stratigrafie di pozzo sono stati standardizzati ed in parte semplificati, rispetto alle nomenclature esposte in Figura 5A e Figura 5B, per realizzare un modello 3D che mostrasse le caratteristiche del sottosuolo ad una scala di rappresentazione appropriata all'estensione della sezione di piana che si è scelto di analizzare. Per tale ragione gran parte delle 88 sigle litologiche presenti nel database sono state accorpate o in parte eliminate. Ad esempio, non sono state considerate le porzioni di colonna interessate dalla presenza di acqua marina nelle indagini *offshore* (identificate dall'abbreviazione “Sea”) e di cavità antropiche (“Ipo”) e naturali (“Cav”). Sono stati anche eliminati dai sondaggi considerati i depositi antropici (M) e le coperture vegetali superficiali (“Tv”). I dati relativi alla presenza di travertino (TR), depositi eolici (EO) e depositi di falda (DT) non sono stati presi in considerazione in quanto sono risultati poco presenti nell'area in esame. Inoltre, sono state standardizzate al di sotto di una medesima sigla numerose facies

affendenti ad una medesima macrolitologia; è stata, ad esempio, definita la macrocategoria delle facies classificate come "Calcareniti di Palermo" ("CC") che raccoglie i 30 diversi tipi di facies descritte nel database per i diversi litotipi calcarenitici indicati dagli acronimi che presentano "CB" e "CG" come lettere iniziali nella *Codelist*. Seguendo questo approccio sono state definite le seguenti 9 macrocategorie che descrivono gli orizzonti litologici scelti per la realizzazione del modello tridimensionale: Substrato Pre-Quaternario (Sub_pre_quat), Conglomerato basale (CG; Cong_basale), Argille di Ficarazzi (AAZ; Argille azzurre), Calcareniti di Palermo (CC; Calc_di_Palermo); Depositi Tirreniani (DM), Alluvioni (ALL), Paleosuoli (PAL), Eluvi-colluvi (CO) e Sabbie marine oloceniche (SMA_Sabbie costiere). Una immagine della sintesi dei dati presenti nel database traspota nella nomenclatura adottata per la ricostruzione del modello è esposta in Figura 11.

Orizzonti litologici del modello 3D	Sigle litologiche dei database
Sabbie costiere (SMA)	Sabbie marine attuali (SM),
Eluvi_Colluvi (CO)	Colluvi (CO), Prodotti eluviali (PE)
Paleosuoli (PAL)	Paleosuolo (PL), Terre rosse (TE)
Alluvioni (AL)	Alluvioni (AL), Lacustri (LA)
Tirreniano (DM)	Sedimenti marini Tirreniano (DM)
Calc_di Palermo (CC)	Calcareniti e sabbie del settore settentrionale (CB), Calcareniti e sabbie del settore meridionale (CG)
Argille_azzurre (AAZ)	Argille azzurre
Congl_basale (CG)	Conglomerati (CT)
Sub_pre_quat (SUB)	Calcare Dolomiti (CD), Fm. Scillato (SC), Dolomie (DO), Radiolariti (RR), flysch Numidico (FN)

Figura 11 - Elenco delle categorie e delle sigle scelte per la costruzione degli orizzonti litologici del modello dopo le operazioni di semplificazione ed omogeneizzazione degli orizzonti di top dei sondaggi presenti nel database nell'area in esame.

Il dataset a disposizione è stato così trasformato e sono state inoltre semplificate le stratigrafie nelle quali risultano presenti interdigitazioni fra diverse litologie: è stato, infatti, analizzato caso per caso lo spessore delle facies in interdigitazione ed è stato successivamente definito il contatto litologico ove il passaggio fra i differenti depositi risulta più netto ed una delle due facies preponderante. Successivamente per la definizione della quota dei passaggi litologici è stata effettuata la sottrazione fra la quota del piano campagna relativa alla posizione dei *log* considerati (estratta da un DEM di risoluzione pari a 2 m) e le quote di top di ogni strato presenti in ogni singola stratigrafia dopo le operazioni di semplificazione ed omogeneizzazione appena citate. Un esempio del dataset ottenuto, relativo a due pozzi, è riportato in Figura 12. Nell'esempio, nello specifico, vengono riportate le operazioni di sintesi effettuate sui dati stratigrafici raccolti dal database nella area "Pagliarelli" e "Via Tavola Tonda"; per ciascun punto i dati sono stati standardizzati e digitalizzati definendo le informazioni riguardanti ogni singolo strato presente in una stratigrafia: nome del *log*; coordinate; macrocategoria litologica di sintesi associata ad ogni strato o insieme di strati riuniti dopo la semplificazione; altitudine della quota di top di ciascuno strato definito all'interno del sondaggio successivamente alla operazione di sottrazione delle quote di top rispetto alla quota estrapolata dal DEM (2 x2).

I dati del database selezionati così rielaborati in formato .csv sono stati inseriti all'interno del *software MOVE* per produrre delle superfici di interpolazione (orizzonti) iniziali dei dati. I dati sono stati inizialmente inseriti nel software per potere visualizzare il top di ciascuno strato relativo ai singoli dati stratigrafici (Figura 13, dx).

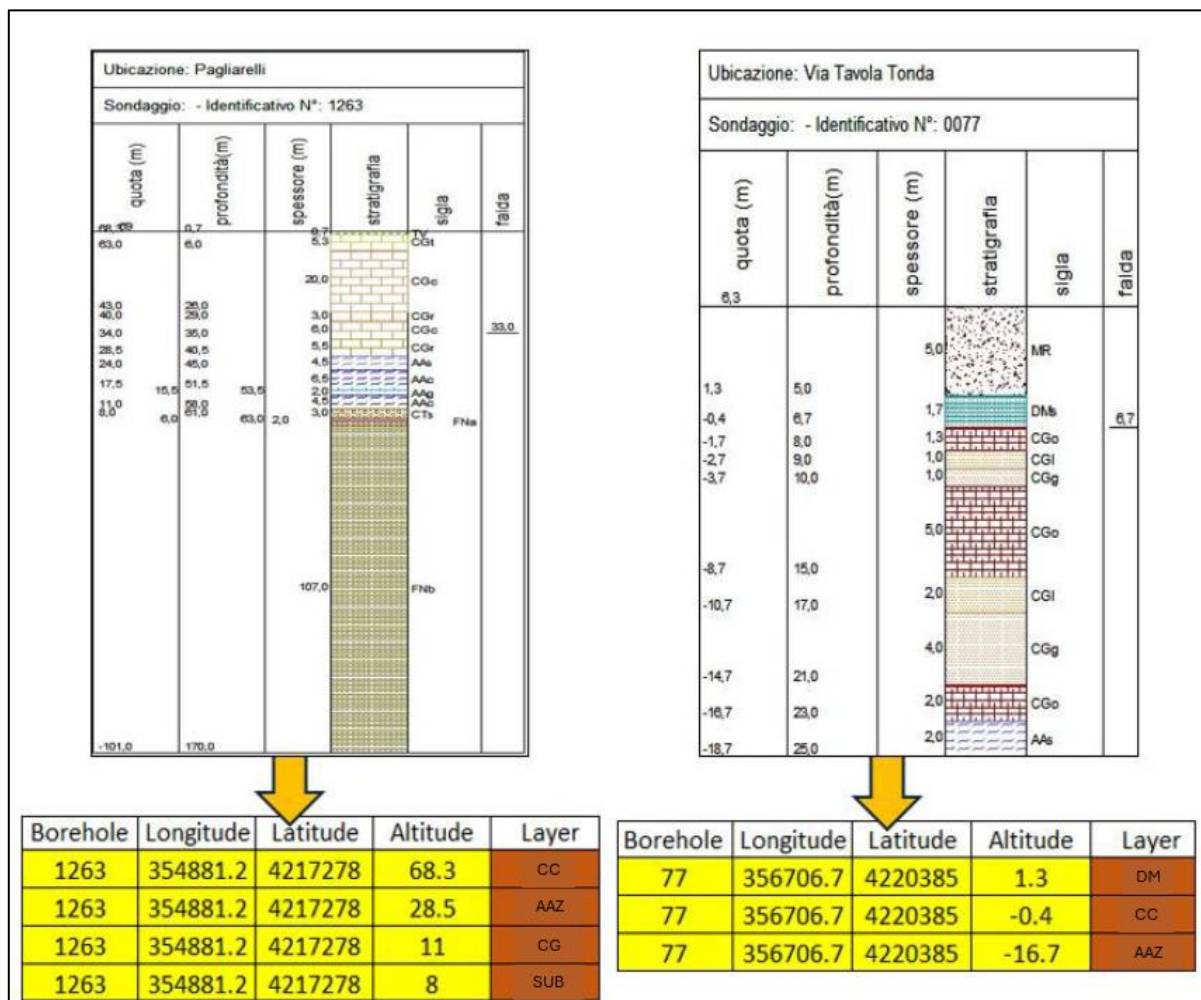


Figura 12 - Operazione di sintesi effettuata sui dati stratigrafici dei log 1263 e 77 del database.

Questa operazione è risultata estremamente utile per capire la distribuzione delle litologie nell'area di studio (Figura 13, sx) e definire quali algoritmi di interpolazione utilizzare rispetto alla densità dei dati a disposizione. I dati relativi alle quote di top di ciascuna litologia sono stati interpolati per disegnare le superfici superiori degli strati geologici (orizzonti). Il metodo di interpolazione scelto è stato diverso per ogni superficie prodotta; la scelta è stata realizzando effettuando numerose prove, rispetto al numero di punti disponibili, alla distanza reciproca tra i punti e alla natura e genesi del deposito da modellare. Principalmente gli algoritmi di interpolazione sono stati:

(A) Il metodo di interpolazione conosciuto come "Triangolazione di Delaunay" (Figura 14A) scelto nei casi di elevata densità di punti in vaste aree. Tale scelta è stata adoperata nel caso delle Calcareniti di Palermo (punti gialli di Figura 13, sx) e delle Argille di Ficarazzi (punti celesti di Figura 13, sx);

(B) L'algoritmo di interpolazione basato sul metodo "Inverse Distance Weight" (Figura 14B) è stato utilizzato rispetto ad una rete di punti non equidistanti ma distribuiti in aree più ristrette, dove i dati presentano comunque una buona densità. Questo tipo di algoritmo è stato ad esempio utilizzato per modellizzare la superficie di top dei Paleosuoli (punti rossi di Figura 13, sx).

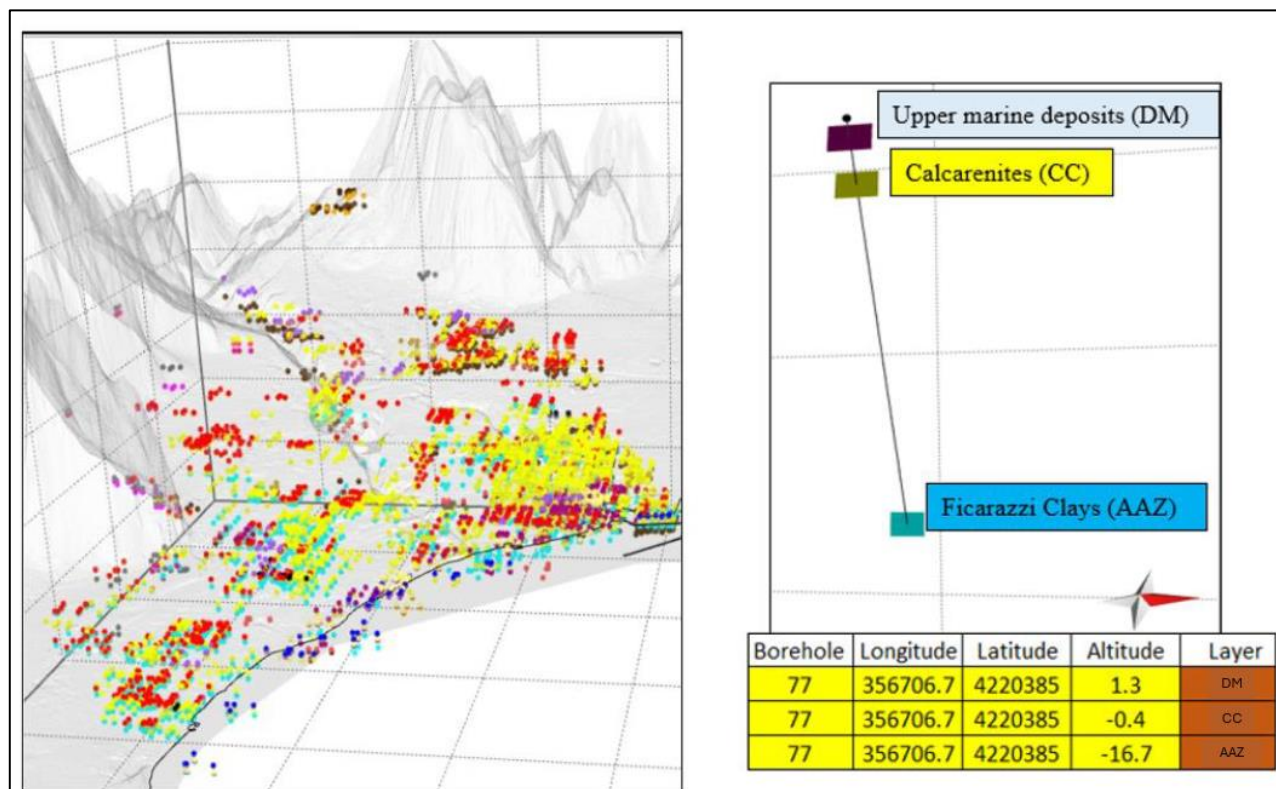


Figura 13 - Processo di immissione dei dati nel software MOVE. A sinistra, vista delle quote di top dei sondaggi presi in considerazione proiettati sul DEM all'interno dell'area di studio (scala verticale esagerata di un fattore 6); ogni colore indica una diversa litologia presente nel set di dati. A destra la rappresentazione tridimensionale relativa di una singola stratigrafia inserita nel software: ogni prisma rappresenta la sommità di uno strato descritto dalla tabella.

Seguendo questo approccio, sono state realizzate 9 categorie di superfici 3D preliminari (orizzonti). Il modello preliminare prodotto presentava diversi errori ed imprecisioni riguardanti il mancato rispetto della topografia del DEM e la regolare successione dei depositi del sottosuolo della pianura di Palermo ampiamente descritta in letteratura. Queste imprecisioni, visibili nella sezione esposta in Figura 15, sono attribuite alla mancanza di una morfologia superficiale che assuma il ruolo di vincolo e confini l'interpolazione dei dati ed all'interazione di superfici modellate secondo un insieme di dati numerici molto eterogeneo. Per correggere le imprecisioni nel modello preliminare, si è deciso di analizzare i dati puntuali e le superfici inizialmente realizzate grazie al software MOVE proiettando delle sezioni di analisi del modello: nel modello è stata infatti inserita una griglia regolare di 70 sezioni; 40 orientate Ovest - Est e 30 Nord - Sud (Figura 16A).

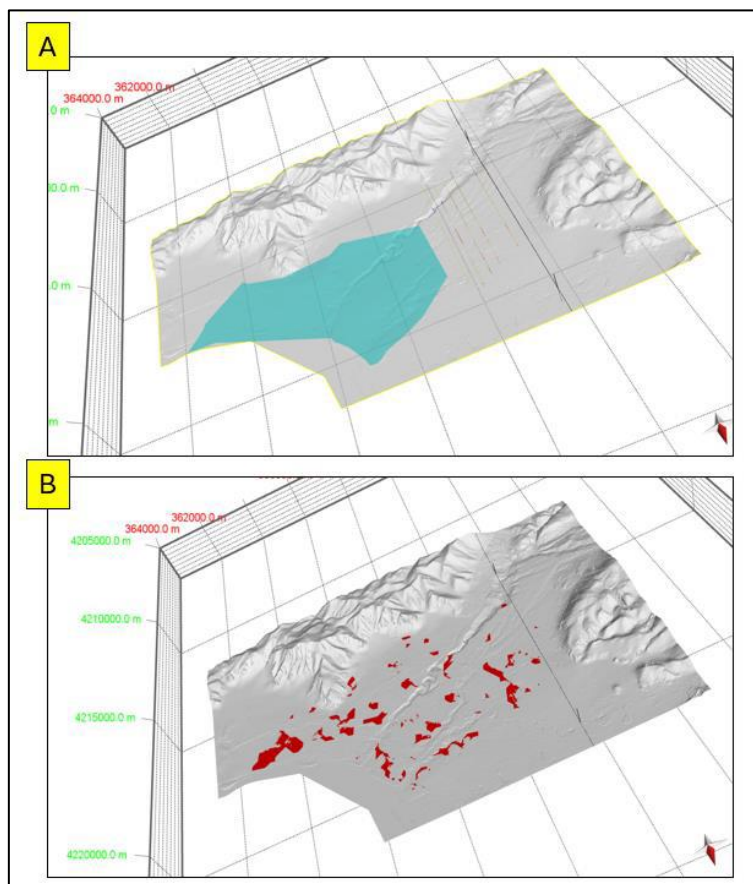


Figura 14 - A) Esempio di una superficie modellizzata mediante interpolazione di dati seguendo il metodo della triangolazione di Delaunay per le Argille di Ficarazzi C; (B) Esempio di superficie modellizzata mediante interpolazione dei dati secondo l'algoritmo "Inverse Distance Weight" per i Paleosuoli.

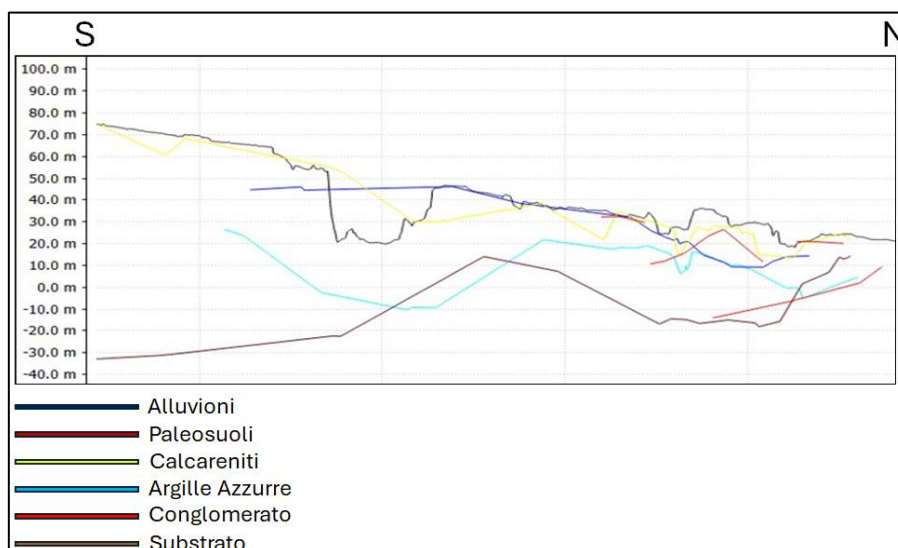


Figura 15 - Sezione bidimensionale che mostra alcune superfici preliminari prodotte dove si possono osservare diverse imprecisioni: diverse superfici si intersecano e si estendono oltre la superficie proiettata dal DEM.

Su ogni sezione 2D sono stati proiettati tutti i dati relativi alle superfici precedentemente prodotte ed ai top litologici di ogni strato presente nei log considerati presenti entro un buffer di 200 m di distanza

da ogni sezione (Figura 16B). Si è successivamente lavorato sulle sezioni che sono state modificate, definendo al meglio il rapporto stratigrafico con i dati di pozzi e le superfici precedentemente create, per evitare di superare la topografia dettata dal DEM e per rispettare la successione stratigrafica (Figura 16C). Dopo questa operazione, le superfici sono state riproiettate generando le superfici 3D definitive relative ad ogni top degli orizzonti litostratigrafici riconosciuti il cui elenco è riportato in Figura 17.

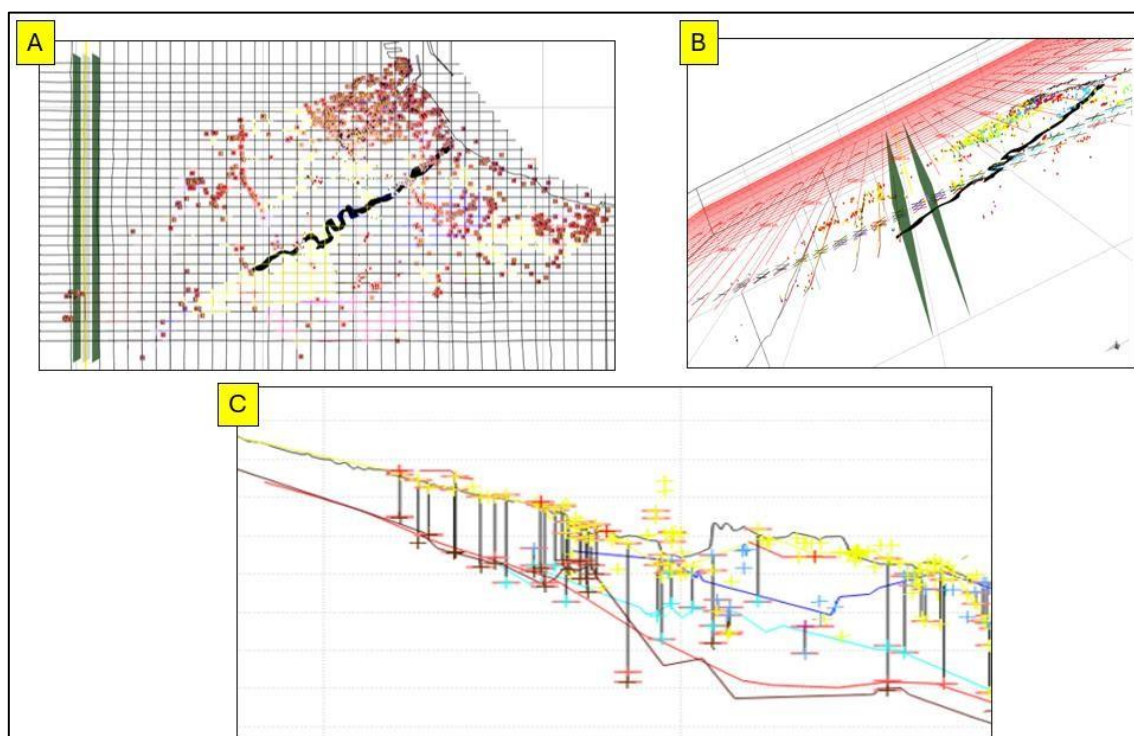


Figura 16 - A) Mappa della griglia delle 70 sezioni realizzate B) Visualizzazione dei limiti del buffer (superfici 3D verdi) che delimita l'area di proiezione su una sezione dei punti di top e dati delle superfici preliminari create C) Esempio di una sezione con superfici modificate per ottenere una rappresentazione più accurata del sottosuolo della pianura.

Orizzonti litologici del modello 3D	Numero di orizzonti modellato
Sabbie costiere_SFR_0001	3
Eluvi_Colluvi_SFR_0002	6
Paleosuoli_SFR_0003	31
Alluvioni_SFR_0004	27
Tirreniano_SFR_0005	2
Calc_di Palermo_SFR_0006	2
Argille_azzurre_SFR_0007	1
Congl_basale_SFR_0008	9
Sub_pre_quat_SFR_0009	4

Figura 17 - Elenco degli orizzonti modellati per ogni litologia definita all'interno del modello 3D.

Sfruttando gli orizzonti 3D prodotti sono stati ricostruiti in *MOVE* anche i volumi relativi a 11 unità litologiche (Figura 18). Il volume è stato modellizzato utilizzando le superfici che delimitano al top ed al bottom le 9 unità litostratigrafiche definite; per le unità superficiali ed in parte affioranti è stato utilizzato la superficie del DEM come superficie di tetto. L'elenco delle unità presenti nel modello

realizzato per ognuna delle 11 categorie litologiche è riportato in Figura 19 insieme ad una visuale del modello 3D realizzato consultabile on line (<https://geo-it3d.isprambiente.it>).

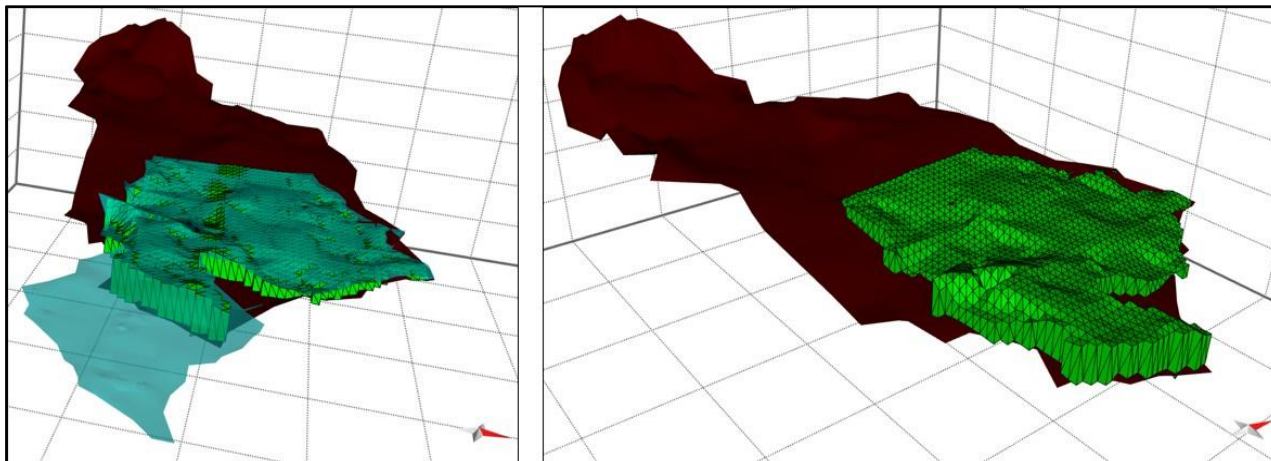


Figura 18 - Volume dei depositi delle Argille di Ficarazzi (prismi verdi) calcolato basandosi sulla differenza di quota delle superfici di top del substrato (superficie amaranto) e la superficie di top delle argille di Ficarazzi (superficie azzurra).

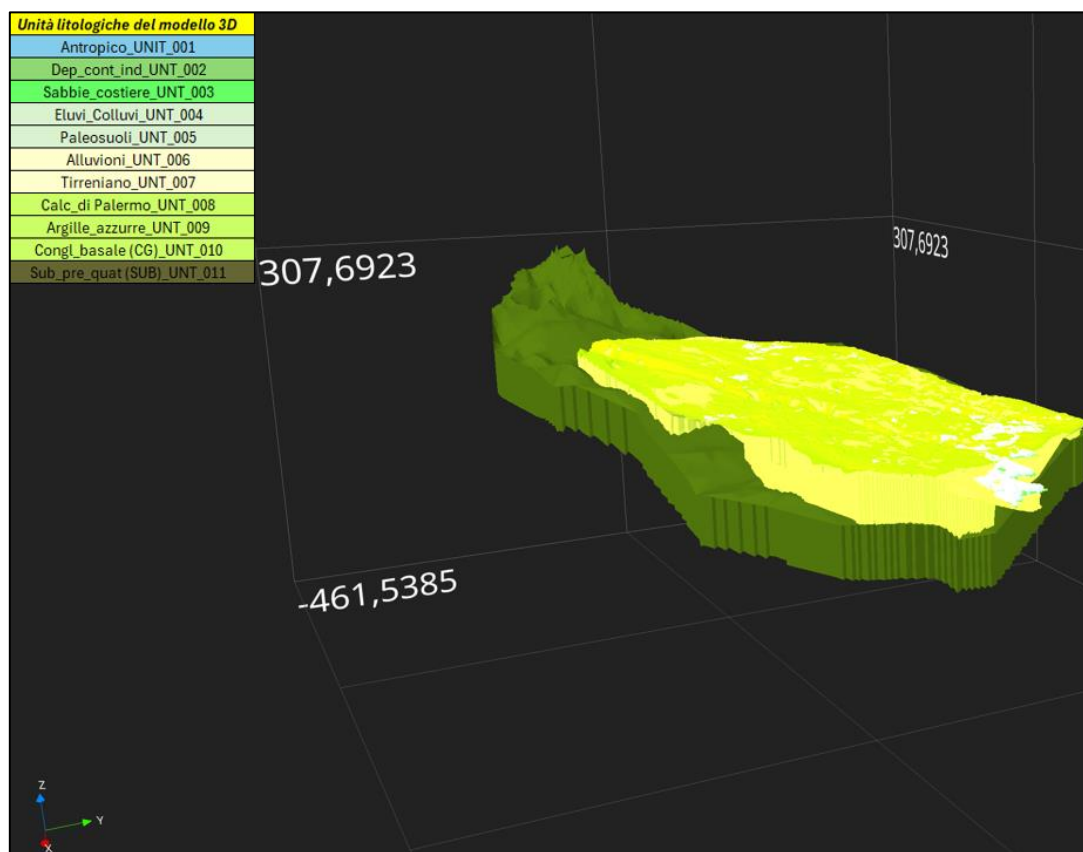


Figura 19 - Elenco delle unità presenti nel modello realizzato e visuale del modello 3D.

5. APPLICAZIONI DEL DATASET E DEL MODELLO 3D

L'analisi del modello 3D consente di fare alcune importanti osservazioni riguardanti gli affioramenti all'interno dell'area di studio. Ciò può anche evidenziare aree potenzialmente soggette a rischi geologici o che sono state affette da tali pericolosità geologiche in passato. In primo luogo, dalla ricostruzione effettuata, si può osservare che la calcarenite è la principale litologia presente nella pianura (Figura 20).

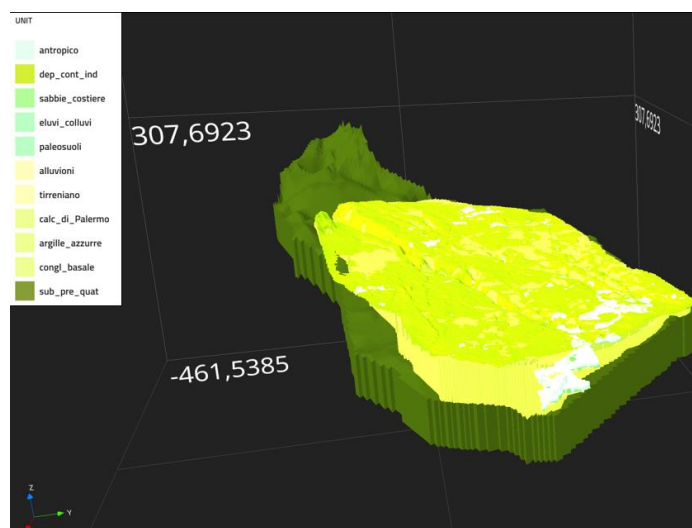


Figura 20 - Modello 3D vista da prospettiva NE (esagerazione verticale del modello pari ad un fattore 6); si può notare come le calcareniti di Palermo (in giallo) siano la litologia maggiormente rappresentativa della successione geologica dell'area della piana di Palermo.

Le calcareniti formano un altopiano attraversato da diversi corsi d'acqua; la maggior parte di essi non sono più visibili e sono stati identificati nel modello dalla presenza di numerose aree in cui sono presenti depositi alluvionali evidenziati in bianco in Figura 21. È il caso dei fiumi "Papireto" e "Kemonia" attualmente coperti dalla rete urbana; nell'area presente fra questi due antichi corsi d'acqua (riquadro verde sul DEM di Figura 21) si svilupparono inizialmente i primi insediamenti urbani fenici (icona a sx in Figura 21). Anche altre aree attualmente non interessate dai fiumi sono descritte nel modello come coperte da depositi alluvionali. È il caso del settore del "Ponte dell'Ammiraglio" (evidenziato da una stella rossa su DEM di Figura 21) che in passato era interessato dalla presenza di un'ansa fluviale dell'Oreto. Attualmente, tuttavia, la zona è densamente popolata in quanto privata del flusso d'acqua in seguito alla rettifica dell'ultimo tratto del fiume effettuata all'inizio del XX secolo (Figura 21 in basso a sx). A tale proposito, definire le aree con depositi alluvionali è utile anche per identificare possibili futuri scenari legati al rischio idraulico, a causa del potenziale di sviluppo di inondazioni che, come spesso accaduto in passato, hanno colpito più volte la piana di Palermo (CUSIMANO, 1989). Oltre alle osservazioni storiche, il modello è importante perché fornisce una conoscenza generale del sottosuolo e dei depositi che si potrebbero probabilmente incontrare, ad esempio, durante i lavori di scavo legati alla realizzazione di opere pubbliche. In quest'ottica, il modello può essere utile per la pianificazione urbanistica e per la definizione di piani di indagine relativi a opere rilevanti per la città. I tool di interrogazione del modello presenti *on line* (<https://geo-it3d.isprambiente.it/map>) sono ad esempio uno strumento di sicura utilità per queste finalità.

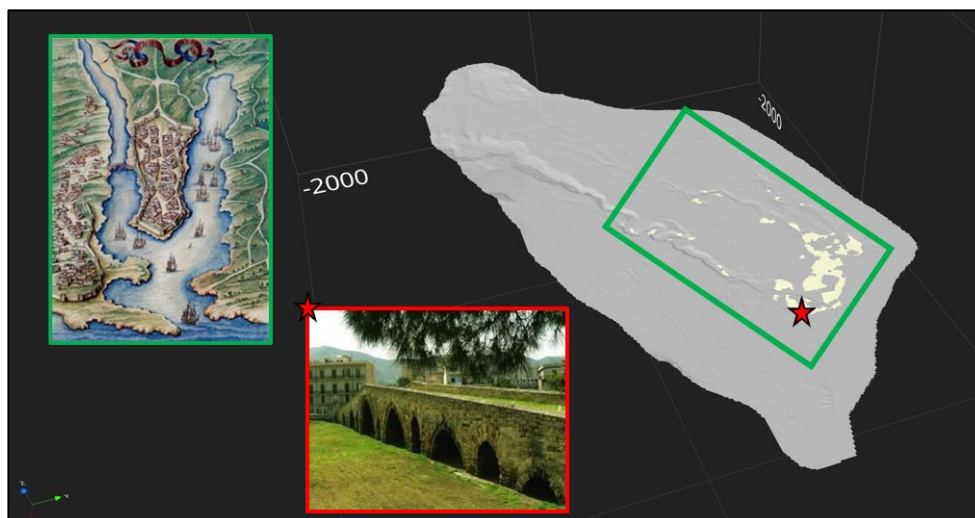


Figura 21 - DEM dell'area in esame e posizione dei depositi alluvionali (in bianco); questi interessano anche le aree limitrofe ai fiumi Kemonia e Papireto (riquadro verde) e l'area del Ponte dell'Ammiraglio (posizione indicata con una stella rossa).

Definire gli orizzonti ed i volumi delle differenti morfologie presenti nel sottosuolo risulta inoltre uno strumento molto efficace per valutare i potenziali effetti di amplificazione sismica che potrebbero verificarsi, come accaduto in passato nell'area della piana di Palermo (GIAMMARINARO *et al.*, 2006). A questo proposito diversi studi sono stati realizzati per dettagliare le caratteristiche del sottosuolo (MARTORANA *et al.*, 2018) e la definizione della profondità della superficie del *bedrock* della piana (CANZONERI *et al.*, 2025) unendo i dati estrapolati dal database con dati di natura geofisica (Figura 22).

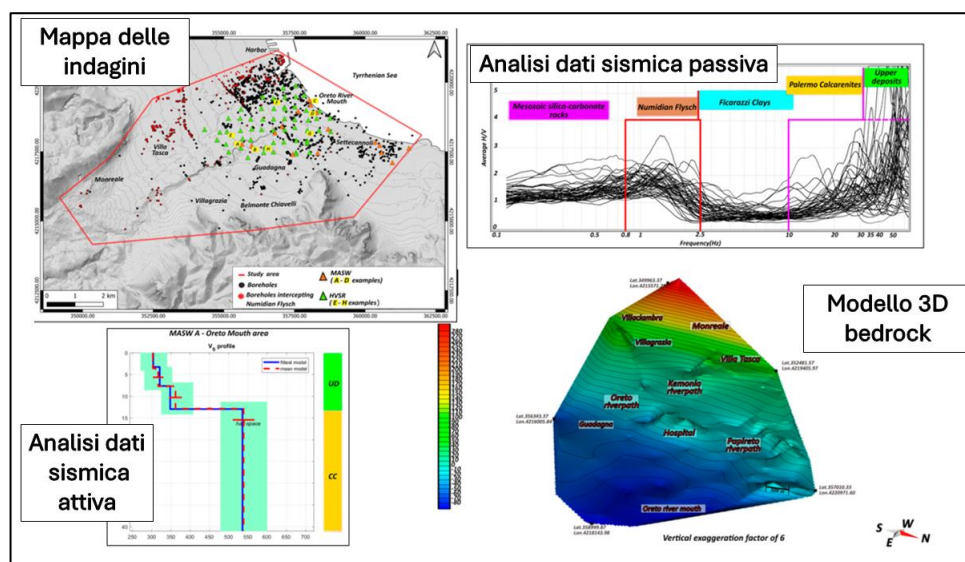


Figura 22 - Analisi effettuate da Canzoneri *et al.*, 2025 sul bedrock della piana sfruttando il database di log stratigrafici a disposizione.

6. BIBLIOGRAFIA

- Agate, M., Basilone, L., Di Maggio, C., Contino, A., Pierini, S., & Catalano, R. (2017). Quaternary marine and continental unconformity-bounded stratigraphic units of the NW Sicily coastal belt. *Journal of Maps*, 13(2), 425-437.
- Canzoneri, A., Martorana, R., Agate, M., Gasparo Morticelli, M., Capizzi, P., Carollo, A., & Sulli, A. (2025). Reconstruction of a 3D Bedrock Model in an Urban Area Using Well Stratigraphy and Geophysical Data: A Case Study of the City of Palermo. *Geosciences*, 15(5), 174.
- Cappadonia, C., Di Maggio, C., Agate, M., & Agnesi, V. (2020). Geomorphology of the urban area of Palermo (Italy). *Journal of Maps*, 16(2), 274-284.
- Catalano, R., Valenti, V., Albanese, C., Accaino, F., Sulli, A., Tinivella, U., Gasparo Morticelli M., Zannola C., & Giustiniani, M. (2013b). Sicily's fold-thrust belt and slab roll-back: the SI. RI. PRO. seismic crustal transect. *Journal of the Geological Society*, 170(3), 451-464.
- Cusimano, G. (1989). *Le alluvioni Palermitane: cronologia e cause, dal 934 al 1988*. [Univ.], Dipartimento di Geologia e Geodesia.
- Giammarinaro, M. S., Guidoboni, E., Maiorana, S., Mariotti, D., & Rovelli, A. (2001). A GIS system as a tool for the integrated analysis of geological data and seismic effects: historic centre of Palermo. In *IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas* (Cat. No. 01EX482) (pp. 288-292). IEEE.
- Giammarinaro, M. S., Canzoneri, V., Vallone, P., & Zuccarello, A. (2003). Effects of the 6th September 2002 earthquake: damage amplification in the south-eastern sector of Palermo explained by GIS technology. *Annals of Geophysics*, 46(6).
- Giammarinaro, M., Barba, D., Cionco, D., Contino, A., & Vallone, P. (2006). Site effects assessment through historical and instrumental data integration. In *Quaderni del Museo Geologico "GG Gemmellaro"* (Vol. 9, pp. 170-177). Dipartimento di Geologia e Geodesia-Università di Palermo.
- Incarbona, A., Contino, A., Agate, M., Bonomo, S., Calvi, F., Di Stefano, E., Giammarinaro M.S., Priulla, A., & Sprovieri, R. (2016). Biostratigraphy, chronostratigraphy and paleoenvironmental reconstruction of the Palermo historical centre Quaternary succession. *Italian Journal of Geosciences*, 135(3), 512-525.
- Martorana, R., Agate, M., Patrizia, C., Cavera, F., & D'Alessandro, A. (2018). Seismo-stratigraphic model of "La Bandita" area in the Palermo Plain (Sicily, Italy) through HVSR inversion constrained by stratigraphic data. *Italian Journal of Geosciences*, 137(1), 73-86.
- Ruggieri, G., & Sprovieri, R. (1975). *Ricerche sul Siciliano di Palermo: le argille del fiume Oreto*.