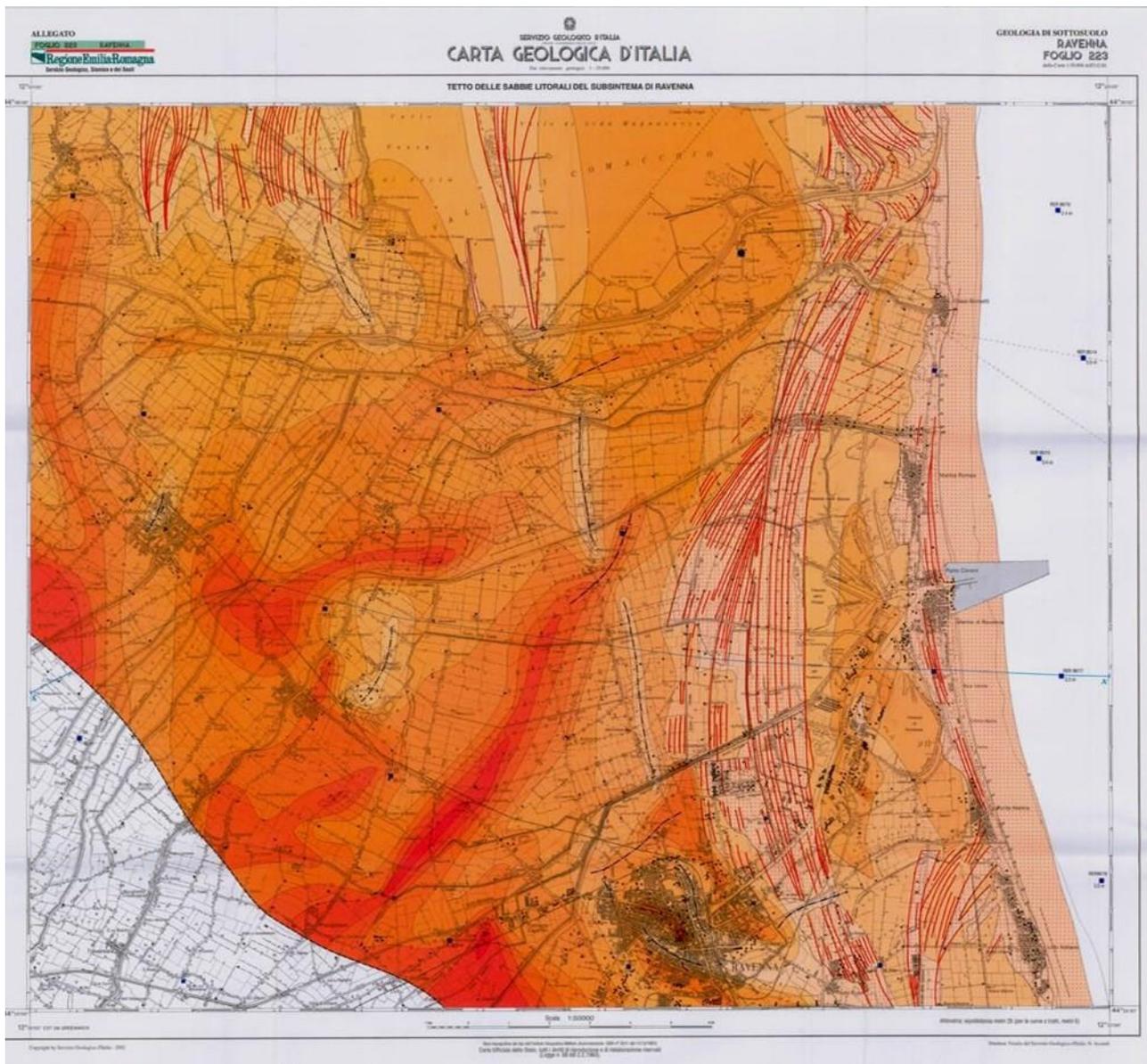


ISPRA – Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia

PROGETTO CARG

LINEE GUIDA per la GEOLOGIA DI SOTTOSUOLO



Stralcio dal foglio di sottosuolo allegato al Foglio geologico n. 223 "Ravenna" (PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI-SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2002).

PROGETTO CARG - LINEE GUIDA per la GEOLOGIA DI SOTTOSUOLO

Indice:

<u>Foglio geologico di sottosuolo</u>	2
<u>1. - PREMESSA</u>	2
<u>2. - LA CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO</u>	3
<u>2.1. - REPERIMENTO DATI GEOGNOSTICI ESISTENTI E LORO ARCHIVIAZIONE IN BANCA DATI</u>	3
<u>2.2. - CONSULTAZIONE BIBLIOGRAFICA</u>	4
<u>2.3. - ANALISI DELLA BANCA DATI GEOGNOSTICI</u>	4
<u>2.4. - ESECUZIONE DI NUOVE INDAGINI DI SOTTOSUOLO</u>	5
<u>2.4.1. - Indagini dirette</u>	5
<u>2.4.1.1. - Sondaggi a carotaggio continuo</u>	5
<u>2.4.2. - Indagini indirette</u>	6
<u>2.4.2.1. - Prove penetrometriche statiche</u>	6
<u>2.4.2.2. - Profili sismici a riflessione</u>	6
<u>2.4.2.3. - Sondaggi geoelettrici</u>	6
<u>2.4.2.4. - Prove o indagini geofisiche in pozzo</u>	7
<u>2.5. - FOGLIO GEOLOGICO DI SOTTOSUOLO</u>	7
<u>2.5.1. - Carte di sottosuolo</u>	8
<u>2.5.2. - Sezioni geologiche</u>	10
<u>2.5.3. - Master log</u>	11
<u>Modello geologico 3D</u>	12
<u>1. - PREMESSA</u>	12
<u>2. - FASI DI LAVORO</u>	13
<u>2.1. - DEFINIZIONE DELL'OBBIETTIVO E DEL MODELLO CONCETTUALE</u>	13
<u>2.2. - RACCOLTA E ORGANIZZAZIONE DEI DATI</u>	14
<u>2.2.1. - Modello digitale del terreno</u>	14
<u>2.2.2. - Dati derivanti dal rilevamento geologico di terreno</u>	15
<u>2.2.3. - Dati di sottosuolo</u>	15
<u>2.3. - ELABORAZIONE DEL MODELLO 3D</u>	15
<u>2.4. - PREDISPOSIZIONE DEI DATI DI OUTPUT</u>	16
<u>Bibliografia</u>	16

Foglio geologico di sottosuolo (a cura di D'OREFICE M.¹ con contributi di SEVERI P.²)

1. – PREMESSA

La prima cartografia di sottosuolo, realizzata nell'ambito del progetto CARG, è quella allegata al Foglio n. 223 "Ravenna" pubblicato nel 2002 (PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI – SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2002). Si tratta di un prodotto cartografico integrativo, nato su iniziativa della Regione Emilia-Romagna e approvato dal Servizio Geologico d'Italia, che prende spunto dall'esperienza cartografica internazionale in aree di pianura, come ad esempio la Carta Geologica d'Olanda alla scala 1:50.000, oppure la Carta Geologica della Danimarca in scala 1:200.000. L'evidente contributo apportato alle conoscenze geologiche del sottosuolo delle aree di pianura da parte di questo nuovo elaborato cartografico, con importanti ricadute sia in campo scientifico sia applicativo, ha incentivato la produzione di altri fogli di sottosuolo. Nell'arco temporale che va dal 2002 al 2016 sono stati, infatti, pubblicati altri 23 fogli di sottosuolo (Tabella 1), che hanno visto in primis il coinvolgimento della Regione Emilia-Romagna, seguita da Veneto, Friuli Venezia Giulia e Lombardia. Inoltre, con la recente ripartenza del Progetto CARG (L.160/2019 e L.178/2020) sono stati finanziati o ammessi al finanziamento altri fogli di sottosuolo.

FOGLI CON CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO 1.50.000	ENTE REALIZZATORE
F° 223 Ravenna (2002)	Regione Emilia-Romagna
F° 199 Parma Sud (2005)	“
F° 219 Sassuolo (2005)	“
F° 240-241 Forlì-Cervia (2005)	“
F° 256 Rimini (2005)	“
F° 148-149 Chioggia-Malamocco (2007)	Regione Veneto
F° 128 Venezia (2007)	Regione Veneto
F° 204 Portomaggiore (2008)	Regione Emilia-Romagna
F° 181 Parma Nord (2009)	“
F° 202 S. Giovanni in Persiceto (2009)	“
F° 201 Modena (2009)	“
F° 203 Poggio Renatico (2009)	“
F° 205 Comacchio (2009)	“
F° 220 Casalecchio di Reno (2009)	“
F° 221 Bologna (2009)	“
F° 222 Lugo (2009)	“
F° 239 Faenza (2009)	“
F° 255 Cesena (2009)	“
F° 180 Salsomaggiore (2009)	“
F° 187 Codigoro (2009)	“
F° 200 Reggio nell'Emilia (2010)	“
F° 182 Guastalla (2010)	“
F° 107 Portogruaro (2011)	Regione Friuli Venezia Giulia
F° 118 Milano (2016)	Regione Lombardia

Tabella 1 – Cartografia di sottosuolo alla scala 1:50.000 finora realizzata nell'ambito del progetto CARG e allegata al corrispondente foglio di superficie. Tra parentesi è indicato l'anno di pubblicazione.

La necessità di ricorrere a questo ulteriore strumento cartografico nasce dalla peculiare conformazione delle aree di pianura, la cui piatta morfologia bidimensionale ostacola l'osservazione tridimensionale dei corpi geologici, limitando fortemente la tradizionale rappresentazione cartografica delle unità stratigrafiche, storicamente sviluppata nei rilievi montuosi (CIBIN & STEFANI,

¹ ISPRA – Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia

² Regione Emilia Romagna

2009). Pertanto, la ricostruzione dell'evoluzione ambientale e dell'architettura stratigrafica di una determinata area di pianura, l'indagine geologica a fini applicativi e la stessa comprensione dei corpi affioranti richiede inevitabilmente l'analisi dei dati sottosuolo. Queste informazioni aggiuntive, non potendo, comunque, sovrapporsi a quelle della carta di superficie, dove andrebbero ad appesantire la sua leggibilità, a discapito della sua comprensione e fruibilità, trovano il giusto spazio in un foglio di sottosuolo allegato alla carta geologica di superficie.

A tutt'oggi, se si escludono le proposte metodologiche informali fornite dalle Linee guida per il rilevamento e la cartografia delle aree di pianura in scala 1:50.000 (di seguito denominate Linee guida), redatte dal Comitato di Coordinamento delle aree di pianura (1999), non esistono normative e criteri standard per la realizzazione di tale prodotto cartografico. Ciò è in parte giustificato dal fatto che le informazioni in esso contenute sono spesso funzione delle specifiche esigenze regionali, della complessità geologica propria dei corpi sedimentari sepolti e soprattutto della disponibilità, profondità, quantità e qualità dei dati di sottosuolo.

2. - LA CARTOGRAFIA DI SOTTOSUOLO

Le sopraccitate Linee guida (COMITATO COORDINAMENTO AREE DI PIANURA, 1999), che si allegano alla presente nota nella loro versione originale, nascono con lo scopo di integrare il capitolo sulla "Cartografia geologica del Quaternario continentale" del Quaderno n. 1, ser. III (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1992), con particolare riferimento al rilevamento e alla rappresentazione cartografica del sottosuolo delle aree di pianura. Difatti, come prima accennato, la peculiare configurazione di queste aree rende di norma molto difficoltoso lo studio tridimensionale delle unità stratigrafiche. Ne consegue che i criteri di rilevamento devono in gran parte differire da quelli impiegati nelle aree montuose e, pertanto, prendere in considerazione, oltre alla superficie, anche le porzioni non affioranti, mediante l'acquisizione di dati provenienti da una determinata profondità. Il prodotto finale prevederà, quindi, oltre una carta di superficie, anche un sistema di rappresentazione dei dati di sottosuolo, che potranno essere descritti tramite carte litologiche o di litofacies, isopache, isobate, sezioni geologiche e schemi vari.

Facendo ampio riferimento a tali Linee guida ed alle successive esperienze cartografiche scaturite a seguito della produzione di fogli geologici in aree di pianura, di seguito vengono sinteticamente indicati i criteri e le principali fasi necessarie per giungere alla realizzazione di una cartografia di sottosuolo.

2.1. - REPERIMENTO DATI GEOGNOSTICI ESISTENTI E LORO ARCHIVIAZIONE IN BANCA DATI

La prima fase consiste nell'acquisizione di tutti i dati geognostici esistenti realizzati da enti pubblici, società o soggetti privati (principalmente stratigrafie di pozzi per acqua e per l'esplorazione d'idrocarburi, stratigrafie di sondaggi geognostici, di prove penetrometriche e trincee esplorative, risultati di indagini geofisiche, ecc.), loro ubicazione nelle rispettive Carte Tecniche Regionali (CTR) in scala 1:10.000, oppure IGMI in scala 1:25.000 e successiva digitalizzazione, georeferenziazione e immissione in una banca dati informatizzata in ambiente GIS, secondo gli standard previsti dalla legge n. 464/84. Ogni singolo dato archiviato va logicamente connesso ad un insieme di tabelle di database relazionale, in cui sono immagazzinate tutte le informazioni geologiche e descrittive della prova geognostica considerata.

È opportuno che il dato, spesso caratterizzato da un grado di affidabilità estremamente variabile, sia immesso nel database con il minor grado d'interpretazione; la sua validazione avverrà, pertanto, a posteriori (eventualmente introducendo delle codifiche relative ai termini non corretti), confrontando tutte le stratigrafie raccolte con i nuovi dati acquisiti.

La densità di dati ottenibile attraverso una raccolta sistematica in zone abbastanza ricche di informazioni (ad esempio nella pianura emiliano-romagnola) varia da circa 10 dati a km² in zone urbane a circa 1 dato per km² in zone agricole. Ad esempio nel Foglio n. 256 “Rimini” (APAT - SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 2005), la densità dei dati geognostici arriva a circa 13 dati per km² (Fig. 1).

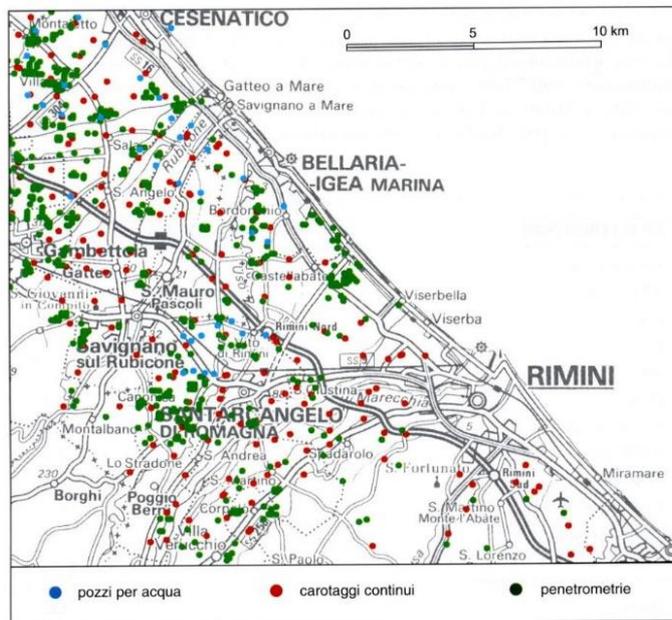


Fig. 1 - Distribuzione in pianta delle indagini geognostiche raccolte nella banca dati del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna ed utilizzate per la carta geologica di sottosuolo del Foglio n. 256 “Rimini”.

È inoltre auspicabile visionare i dati pubblici accessibili tramite il progetto ViDEPI - Visibilità dei dati afferenti all’attività di esplorazione petrolifera in Italia (<https://www.videpi.com/videpi/videpi.asp>) e, ove disponibili e previa autorizzazione³, i sondaggi di proprietà dell’ENI o di altre compagnie petrolifere.

Al fine di consentire l’aggiornamento della cartografia di superficie e di sottosuolo è auspicabile che la raccolta dei dati geognostici non si esaurisca con la realizzazione del foglio geologico, ma venga periodicamente implementata mediante l’acquisizione di nuove informazioni.

Tra i prodotti attesi rientrano i files con i dati informatizzati, le carte con le ubicazioni dei dati geognostici e le copie cartacee, o le scansioni, del materiale recuperato.

2.2. - CONSULTAZIONE BIBLIOGRAFICA

Elenco informatizzato della documentazione consultata (pubblicazioni scientifiche, relazioni, rapporti tecnici, ecc.) con note, commenti e parole-chiave.

2.3. - ANALISI DEI DATI GEOGNOSTICI

L’analisi di tutti i dati geognostici disponibili nel database consentirà di definire la geometria dei principali corpi sedimentari e l’eventuale profondità del substrato delle unità superficiali, e fornirà gli strumenti per una caratterizzazione preliminare dell’architettura stratigrafica del sottosuolo.

Tale analisi potrà sfruttare le correlazioni, basate su criteri geometrici e genetici, e guidate da significativi marker stratigrafici, quali corpi tabulari argillosi di spessore rilevante, intervalli torbosi caratterizzati da una notevole continuità laterale, paleosuoli, livelli di sabbie fossilifere, orizzonti di origine vulcanica, ecc.

Fanno parte dei prodotti attesi in questa fase sia lo schema geologico preliminare dell’area e sia le sezioni stratigrafiche interpretate.

³ Il Dipartimento per il Servizio Geologico d’Italia di ISPRA ha stipulato uno specifico accordo con ENI per garantire la possibilità di visionare i dati presenti nelle aree dei fogli e non pubblicamente disponibili.

2.4. - ESECUZIONE DI NUOVE INDAGINI DI SOTTOSUOLO

Il modello geologico preliminare, elaborato dal database, consentirà di programmare nuove indagini, tenendo ben presente i seguenti obiettivi:

- verificare ed integrare il modello stratigrafico preliminare di sottosuolo;
- caratterizzare i corpi, gli orizzonti e le superfici individuabili nel sottosuolo dal punto di vista litologico, geometrico, sedimentologico, petrografico, mineralogico, pedologico, ecc.;
- consentire la campionatura per analisi di laboratorio (per esempio torbe o orizzonti organici per le datazioni al ^{14}C , livelli vulcanici per le datazioni $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, materiale per analisi paleontologiche, petrografiche, palinologiche, ecc.);
- reperire informazioni in aree ove la quantità dei dati è minore al fine di rendere possibile la mappatura delle unità che si intende cartografare;
- acquisire eventuali dati a fini applicativi (ad esempio la permeabilità degli orizzonti sia grossolani sia fini).

Per il conseguimento degli obiettivi anzidetti è indispensabile l'esecuzione delle indagini dirette e indirette di seguito riportate. Il loro numero, profondità e tipologia dipendono dalla natura dei depositi investigati, dalla complessità del quadro stratigrafico, dalla quantità e qualità delle informazioni pregresse e dalle risorse finanziarie a disposizione. A tal riguardo si consideri che le risorse finanziarie impiegate per le nuove indagini nei fogli della pianura emiliano-romagnola cui si fa cenno nel prosieguo del testo, hanno costituito il 30 – 40 % del costo totale del foglio.

2.4.1. - Indagini dirette

2.4.1.1. - Sondaggi a carotaggio continuo

In caso di pianure molte estese, sarà opportuno che il numero dei sondaggi più profondi permetta di caratterizzare i depositi laddove ci si aspettano le principali variazioni di spessore o di facies. A questi sondaggi dovranno essere aggiunti ulteriori carotaggi continui, spinti a minor profondità, allo scopo di caratterizzare in dettaglio i corpi sedimentari di sottosuolo che si intendono cartografare.

Tutte le carote andranno fotografate, descritte dettagliatamente (granulometria, classazione, tessitura, addensamento, cementazione, litologia, grado di alterazione e morfologia dei clasti, strutture sedimentarie, colore) e campionate per analisi fisiche, quali ad esempio petrografiche, mineralogiche, micropaleontologiche, palinologiche, vegetazionali, geocronologiche, geochimiche, di suscettività magnetica e così via. Inoltre, particolare attenzione andrà riposta allo studio di eventuali paleosuoli presenti.

A titolo di esempio, per la realizzazione della carta geologica di pianura della Regione Emilia-Romagna sono stati eseguiti mediamente per ogni foglio 15 sondaggi di circa 50 m di profondità e 3 sondaggi di circa 150 m di profondità.

Considerato l'alto costo e l'importanza di questo tipo di indagini, che rappresentano l'unico strumento di osservazione diretta delle diverse facies sedimentarie preservate nel sottosuolo, è fondamentale conservare le cassette catalogatrici contenenti le carote in idonei magazzini.

Se lo si ritiene utile da un punto di vista applicativo, nel corso del sondaggio potranno anche essere acquisiti dati di tipo idrogeologico (prove di permeabilità, prove di pompaggio, ecc.) o geotecnico (prove SPT, prelievo di campioni per specifiche analisi di laboratorio, ecc.).

Si ricorda che per i sondaggi di profondità superiore ai 30 metri devono essere rispettati gli obblighi previsti dalla legge n. 464/84 (<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicita-legale/adempimenti-di-legge/trasmissione-informazioni-legge-464-84>) compilando la modulistica reperibile sul sito ISPRA (<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicita-legale/adempimenti-di-legge/trasmissione-informazioni-legge-464-84/istruzioni-per-linvio>).

2.4.1.2. - Sondaggi a distruzione di nucleo

Sono consigliabili solo nel caso di attraversamento di corpi sedimentari difficilmente carotabili, quali ad esempio corpi di elevato spessore costituiti esclusivamente da ghiaie prive di matrice.

2.4.2. - Indagini indirette

Questo tipo di indagini possono fornire informazioni di tipo indiretto sulla stratigrafia del sottosuolo, che viene dedotta attraverso l'interpretazione di alcuni parametri misurati (elasticità, resistività elettrica, densità, ecc.). Ai fini di un'interpretazione stratigrafica affidabile è, comunque, indispensabile tarare ogni indagine indiretta con una diretta.

L'utilizzo di queste indagini va valutato di volta in volta, in relazione alle caratteristiche fisiche delle unità di sottosuolo che si intende analizzare.

2.4.2.1. - Prove penetrometriche statiche

Sono particolarmente indicate nei casi in cui i corpi di sottosuolo siano caratterizzati da elevati contrasti granulometrici (ad esempio limite sabbia – argilla), ma non consentono l'attraversamento di orizzonti ghiaiosi. Pertanto possono essere utilizzate per caratterizzare i terreni sabbioso-argillosi e per rilevare il tetto delle ghiaie, o di un substrato litoide.

Dato il grado di dettaglio decisamente superiore e il costo non molto differente, è preferibile utilizzare penetrometri dotati di punta elettrica e, ove possibile, anche di piezocono.

A titolo di esempio, per la realizzazione del Foglio n. 223 “Ravenna” sono state eseguite più di 200 prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono, che hanno raggiunto una profondità media di circa 35 m. Considerato il costo decisamente inferiore a quello dei carotaggi continui, le penetrometrie possono essere ampiamente utilizzate per aumentare la densità delle informazioni geognostiche nelle zone più carenti di dati. Naturalmente anche queste prove necessitano di opportune procedure di taratura con i sondaggi a carotaggio continuo ad esse adiacenti.

2.4.2.2. - Profili sismici a riflessione

A differenza di tutti gli altri tipi d'indagine, l'analisi sismostratigrafica permette una rappresentazione bidimensionale del sottosuolo. Ciò consente di analizzare direttamente le geometrie di sottosuolo, altrimenti deducibili solo tramite correlazioni di dati di sondaggio. Dati gli alti costi di realizzazione, il loro utilizzo deve avere motivazioni particolari. Come anticipato, è auspicabile visionare i dati pubblici accessibili tramite il progetto ViDEPI - Visibilità dei dati afferenti all'attività di esplorazione petrolifera in Italia (<https://www.videpi.com/videpi/videpi.asp>) e, ove disponibili e previa autorizzazione⁴, le linee sismiche di proprietà dell'ENI o di altre compagnie petrolifere.

2.4.2.3. - Sondaggi geoelettrici

Se il sottosuolo è costituito da corpi di spessore decametrico ad elevato contrasto di resistività, le indagini geoelettriche possono dare buoni risultati. In alcuni casi possono anche essere utilizzate per mappare il tetto del substrato, qualora questo abbia una resistività marcatamente diversa da quella dei depositi soprastanti.

Per studi di maggior dettaglio, finalizzati a definire con migliore accuratezza la geometria di corpi geologici sepolti, si può ricorrere al metodo della tomografia elettrica (ERT - *Electrical Resistivity Tomography*), purché il contrasto di resistività con i corpi circostanti non sia troppo basso.

⁴ Il Servizio Geologico d'Italia di ISPRA ha stipulato uno specifico accordo con ENI per garantire la possibilità di visionare i dati presenti nelle aree dei fogli e non pubblicamente disponibili.

2.4.2.4. - Prove o indagini geofisiche in pozzo

Tra le indagini geofisiche che possono essere eseguite in pozzo, particolarmente utili sono i *gamma ray log*, che si basano sulla misura in pozzo della radioattività naturale dei terreni. Questo tipo d'indagine può essere efficacemente utilizzata per ottenere informazioni a carattere litologico su pozzi per acqua già esistenti dei quali non si conosce la stratigrafia, o per verificarla, in caso di informazioni ritenute poco attendibili. A titolo di esempio, alcune prove di questo tipo sono state eseguite, con esito positivo, in pozzi terebrati in corrispondenza del conoide del Marecchia (Foglio n. 256 "Rimini" - APAT - SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2005) e nell'area veneziana (fogli n. 128 "Venezia", APAT - SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2007a e n. 148-149 "Chioggia-Malamocco", APAT - SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2007b).

Un altro tipo di indagini geofisiche utilizzabili ai fini della cartografia di sottosuolo sono le indagini sismiche *down-hole*. Queste prove, eseguite nei fori di sondaggio per il rilevamento della velocità delle onde sismiche nei terreni attraversati, sono fondamentali per la calibrazione dell'interpretazione delle linee sismiche passanti per il punto interessato dall'indagine *down-hole*.

2.5. - FOGLIO GEOLOGICO DI SOTTOSUOLO

L'insieme dei dati acquisiti nelle fasi precedenti, che rappresentano gli "affioramenti" di cui si dispone, consente di realizzare, attraverso l'interpolazione stratigrafica tridimensionale dei dati puntuali (pozzi, sondaggi, penetrometrie) e lineari (linee sismiche, profili di resistività, ecc.), la cartografia geologica di sottosuolo. In questa fase, inoltre, sarà possibile affinare e validare concretamente il modello geologico di sottosuolo elaborato in via preliminare dalla banca dati geognostici e inserire nel database stesso l'informazione relativa all'affidabilità del dato.

Le numerose informazioni relative alla geologia di sottosuolo trovano spazio in un Foglio allegato alla carta geologica di superficie che, oltre ad una o più carte di sottosuolo (di solito due) con relativa legenda, ospita sezioni geologiche superficiali e/o profonde e generalmente diversi elaborati, quali *master log*, sezioni sismiche interpretate e non (cfr. fogli n. 148-149 "Chioggia-Malamocco" e n. 128 "Venezia") (Fig. 2), schemi e diagrammi (ad esempio diagrammi a recinto che sintetizzano le geometrie tridimensionali dei corpi deposizionali; cfr. Foglio n. 223 "Ravenna", PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI – SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2002).

Le dimensioni massime del Foglio allegato e il campo riguardante la testata editoriale devono essere conformi agli standard previsti nel Quaderno n. 2, ser. III, del Servizio Geologico Nazionale (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1996).

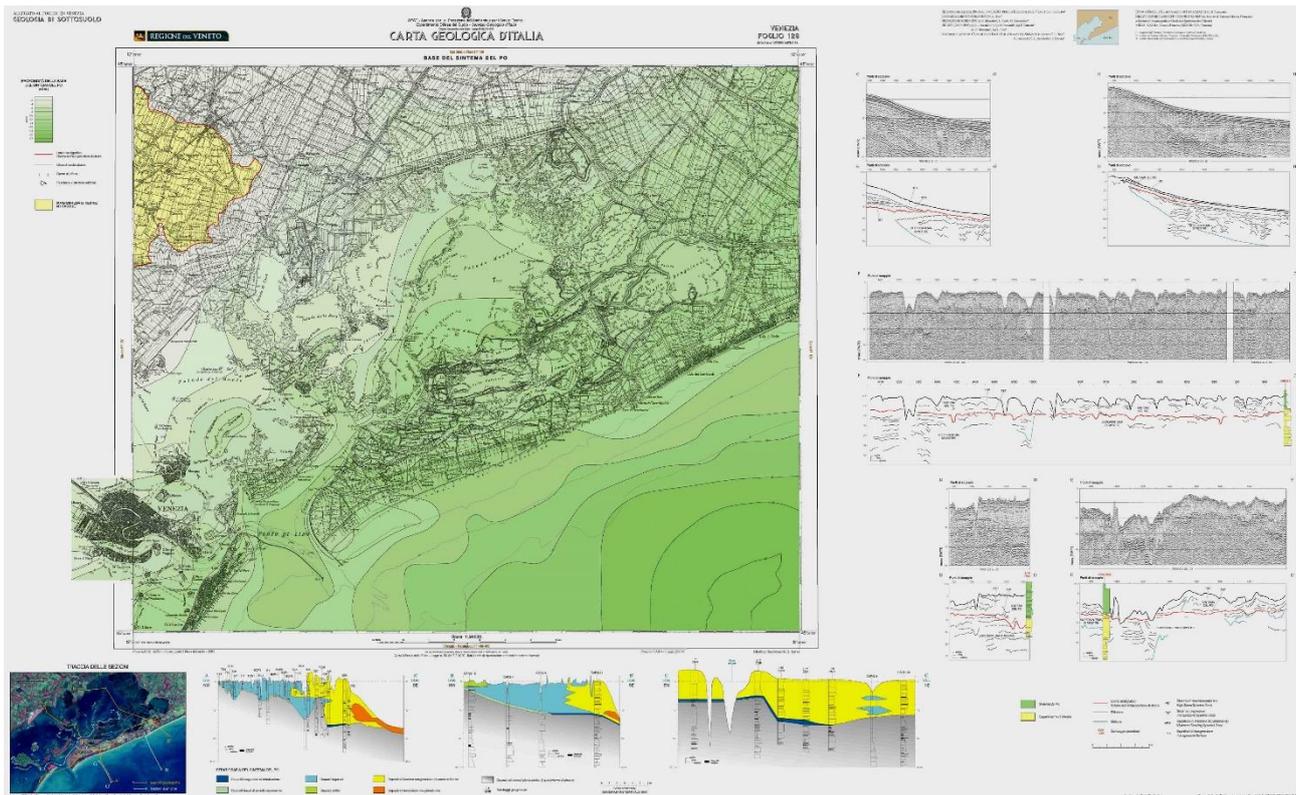


Fig. 2 - Foglio Allegato al Foglio geologico di superficie n. 128 "Venezia". A lato della carta geologica di sottosuolo sono riportate tre sezioni sismiche ad alta risoluzione, acquisite nell'area lagunare.

2.5.1. - Carte di sottosuolo

La carta o le carte di sottosuolo riguardano la mappatura di corpi di sottosuolo sufficientemente documentati, che rivestono una determinata importanza dal punto di vista stratigrafico e/o applicativo. La loro scala di rappresentazione, solitamente 1:50:000 nel caso di una sola carta, non è stata mai, comunque, stabilita da normative ufficiali. Ad esempio, nel Foglio n. 223 "Ravenna" le carte geologiche di sottosuolo allegate sono due: "carta del tetto delle sabbie litorali del Subistema di Ravenna" alla scala 1:50.000 e "carta della base del Subistema di Ravenna" alla scala 1:200.000 (Fig. 3). Nel Foglio n. 187 "Codigoro" (ISPRA - SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 2009) le carte di sottosuolo sono sempre due, ma entrambe in scala 1:100.000. Pertanto, si auspica che nei futuri fogli geologici, la scala della carta di sottosuolo sia la stessa di quella della corrispondente carta di superficie. Nel caso in cui un ampio settore della carta di sottosuolo sia interessato da corpi geologici affioranti appartenenti alla stessa o ad altre unità di sottosuolo, si ritiene utile limitare l'estensione del campo carta ai soli corpi sepolti, guadagnando spazio a vantaggio di altri elaborati cartografici a scale minori, sezioni geologiche, schemi a margine, ecc. (Fig. 4).

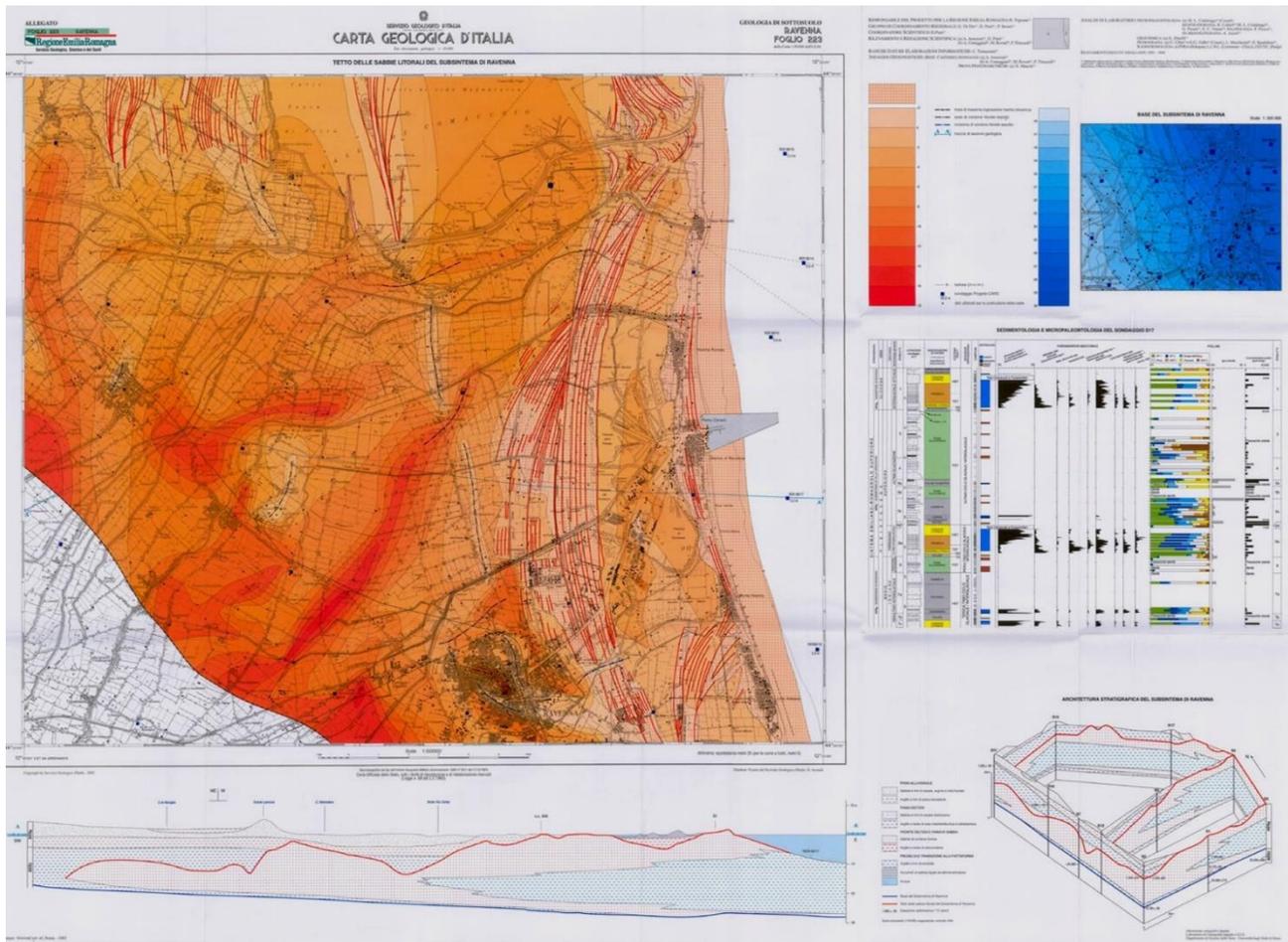


Fig. 3 - Foglio Allegato al Foglio geologico di superficie n. 223 "Ravenna". Nella carta di maggiori dimensioni, alla scala 1:50.000, è rappresentato il tetto delle sabbie litorali del Subisistema di Ravenna (le profondità crescenti sono indicate da tonalità che sfumano dall'arancione al rosso). La carta alla scala 1:200.000 (in alto a destra del Foglio) rappresenta, invece, la base del Subisistema di Ravenna (le profondità crescenti sono indicate da tonalità che sfumano dal celeste chiaro all'azzurro scuro).

Per ogni corpo dovranno essere necessariamente tracciate le isobate del tetto e/o della base dell'unità mappata, espresse in quote assolute in m s.l.m., ed eventualmente le isopache. In particolari casi, purché le informazioni lo consentano, potranno essere anche disegnate le isolite o le isofacies. Dovranno essere inoltre riportate le localizzazioni puntuali dei dati utilizzati per la stesura della carta stessa (indagini geognostiche preesistenti, sondaggi e CPTU del progetto CARG, pozzi per ricerca idrocarburi, ecc.), le tracce delle sezioni geologiche e di eventuali sezioni sismiche.

Qualora siano stati identificati elementi strutturali, quali faglie e assi di pieghe, questi andranno cartografati avendo cura di indicare se si tratti di elementi rappresentati all'intersezione con la superficie mappata o se si tratti del loro margine superiore sottostante tale superficie. In quest'ultimo caso tali elementi strutturali andranno rappresentati con una linea tratteggiata.

Gli oggetti mappati sul foglio geologico di sottosuolo vengono informatizzati in banca dati CARG nei nuovi strati 31 e 32.

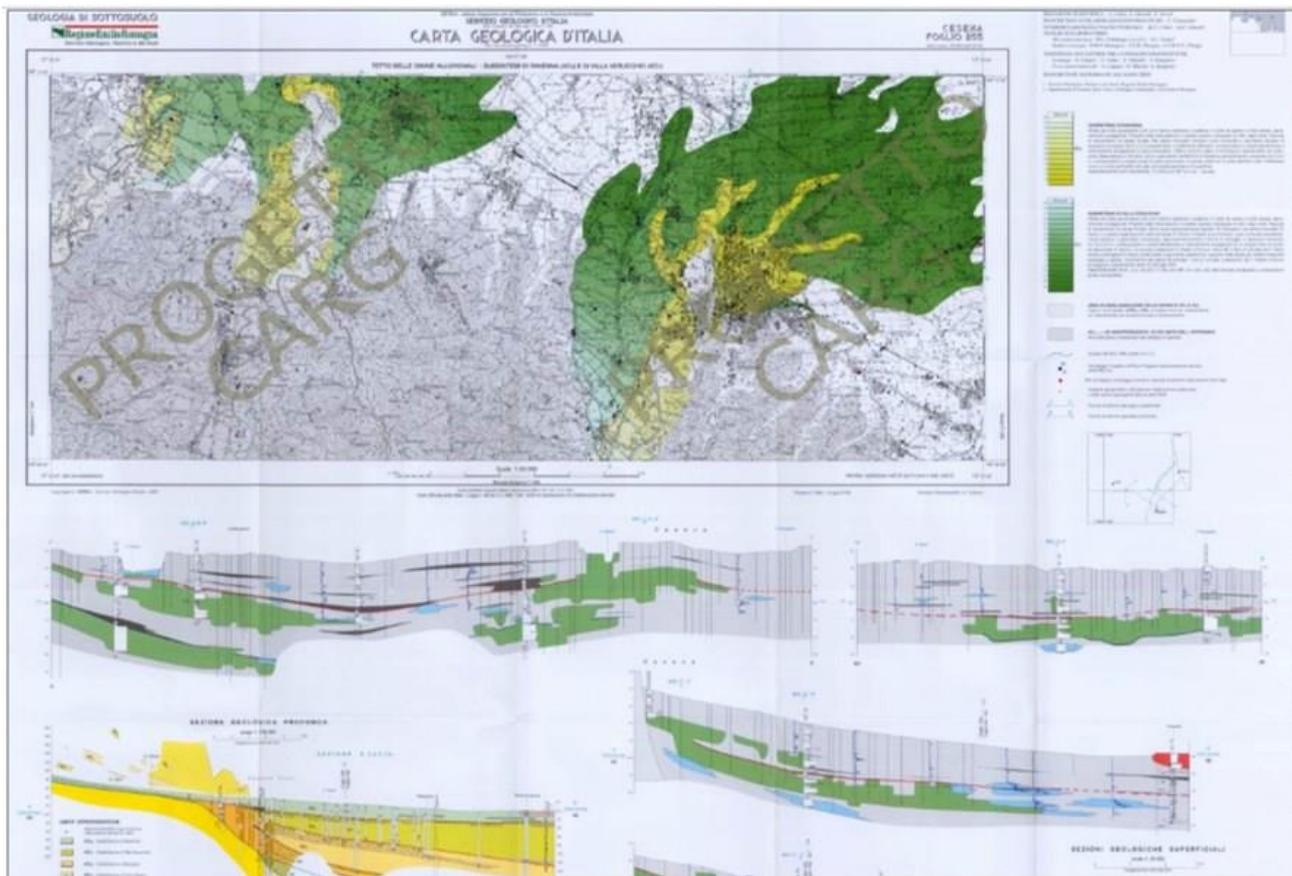


Fig. 4 - Stralcio del Foglio Allegato al Foglio geologico di superficie n. 255 "Cesena".

L'inquadratura marginale delle carte geologiche di sottosuolo (cornice e bordo del campo carta), anche se a scale diverse, dovrà rispettare le indicazioni fornite dal citato Quaderno n. 2 (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1996). Inoltre la carta, corredata di base topografica IGMI, dovrà essere affiancata da una legenda descrittiva dei corpi geologici di sottosuolo rappresentati, compresa la loro unità stratigrafica di appartenenza e di segni convenzionali.

Vale la pena sottolineare che le carte geologiche di sottosuolo non vanno considerate come prodotti statici, ma suscettibili di modifiche, soprattutto in aree povere di informazioni, qualora nuovi dati vadano ad integrare l'insieme di dati pregressi.

2.5.2. - Sezioni geologiche

L'illustrazione del sottosuolo sarà resa anche attraverso la realizzazione di numerose sezioni geologiche, superficiali e/o profonde (Fig. 5), parallele e perpendicolari agli assi deposizionali del bacino. Per queste sezioni si raccomanda di utilizzare un'esagerazione verticale sufficiente per evidenziare i rapporti tra le diverse unità; la scala orizzontale, invece, dovrà essere uguale a quella della carta di sottosuolo, a meno di situazioni che richiedano una scala di rappresentazione differente. Analogamente alle sezioni della carta geologica di superficie, nelle sezioni rappresentate nel Foglio allegato vanno specificati: l'orientamento, la scala orizzontale e verticale, le quote rispetto al livello del mare. Su di esse andranno, inoltre, riportati i principali riferimenti toponomastici, l'ubicazione dei sondaggi (con eventuale profilo granulometrico), delle prove penetrometriche (con eventuale profilo di punta delle prove penetrometriche), ecc. Infine, ciascuna sezione geologica, o gruppo di sezioni, dovrà essere corredata da una legenda specifica.

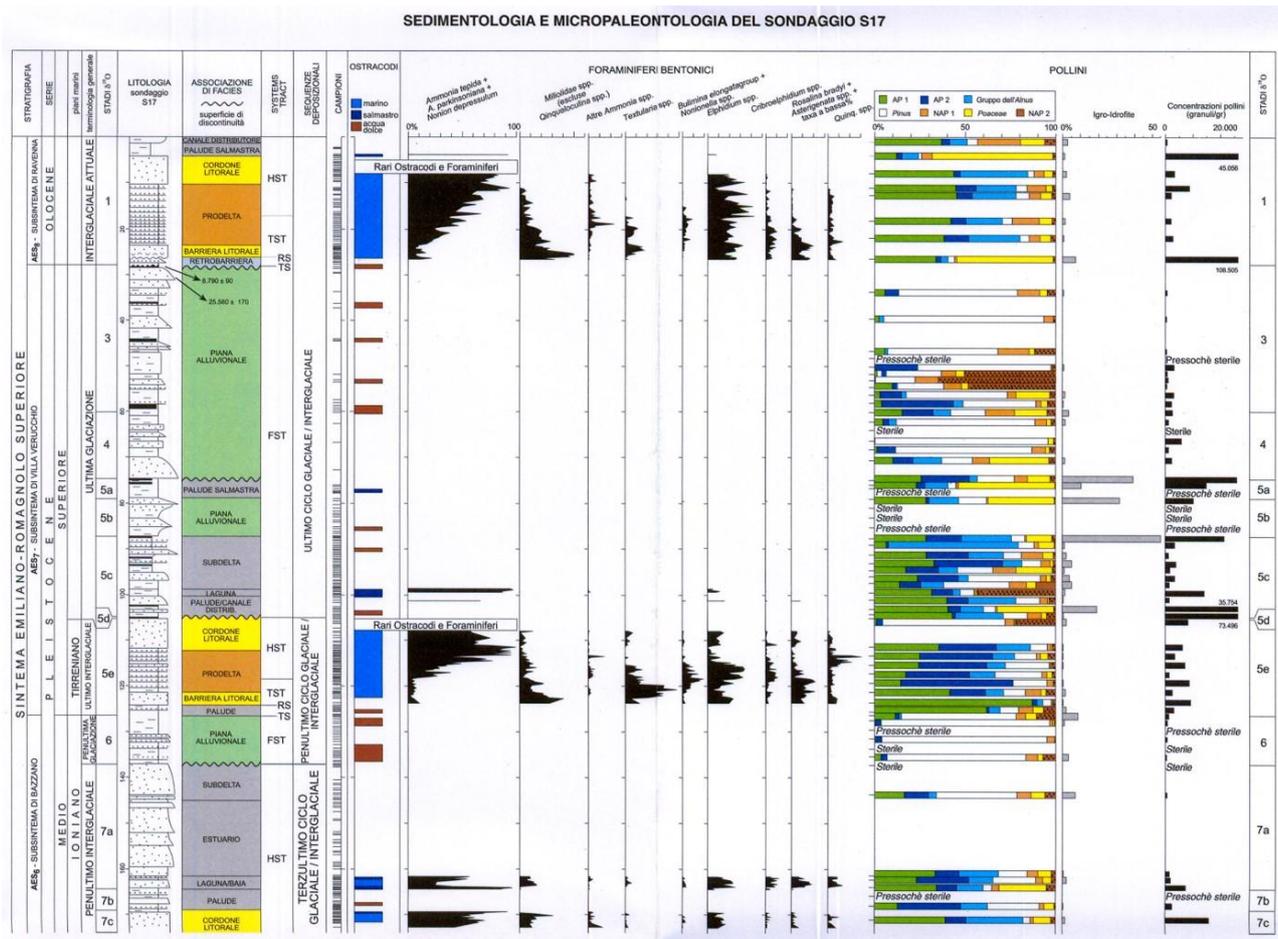


Fig. 6 - Master log del sondaggio a carotaggio continuo S17, realizzato nell'ambito del Foglio geologico n. 223 "Ravenna".

Modello geologico 3D (a cura di D'AMBROGI C.⁵)

1. - PREMESSA

La realizzazione di modelli geologici tridimensionali di aree corrispondenti a fogli del progetto CARG alla scala 1:50.000 segna un significativo avanzamento nella possibilità di comunicare, nel modo più completo possibile, l'assetto geologico di un'area, fornendo anche uno strumento ad alto impatto applicativo.

Una sperimentazione sulla possibilità di affiancare un foglio geologico tradizionale, ed eventualmente un foglio geologico di sottosuolo, con un modello geologico 3D è stata realizzata, per la prima volta, con il Foglio n. 280 "Fossombrone" (2017) nel quale i dati acquisiti durante il rilevamento geologico, e immagazzinati in Banca Dati CARG, sono stati utilizzati come vincoli geometrici per la costruzione del modello geologico 3D opportunamente integrati con dati derivanti dall'interpretazione di alcune linee sismiche tarate su due sondaggi profondi (BORRACCINI *et al.*, 2004; D'AMBROGI *et al.*, 2004) (Fig. 7).

⁵ ISPRA – Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia

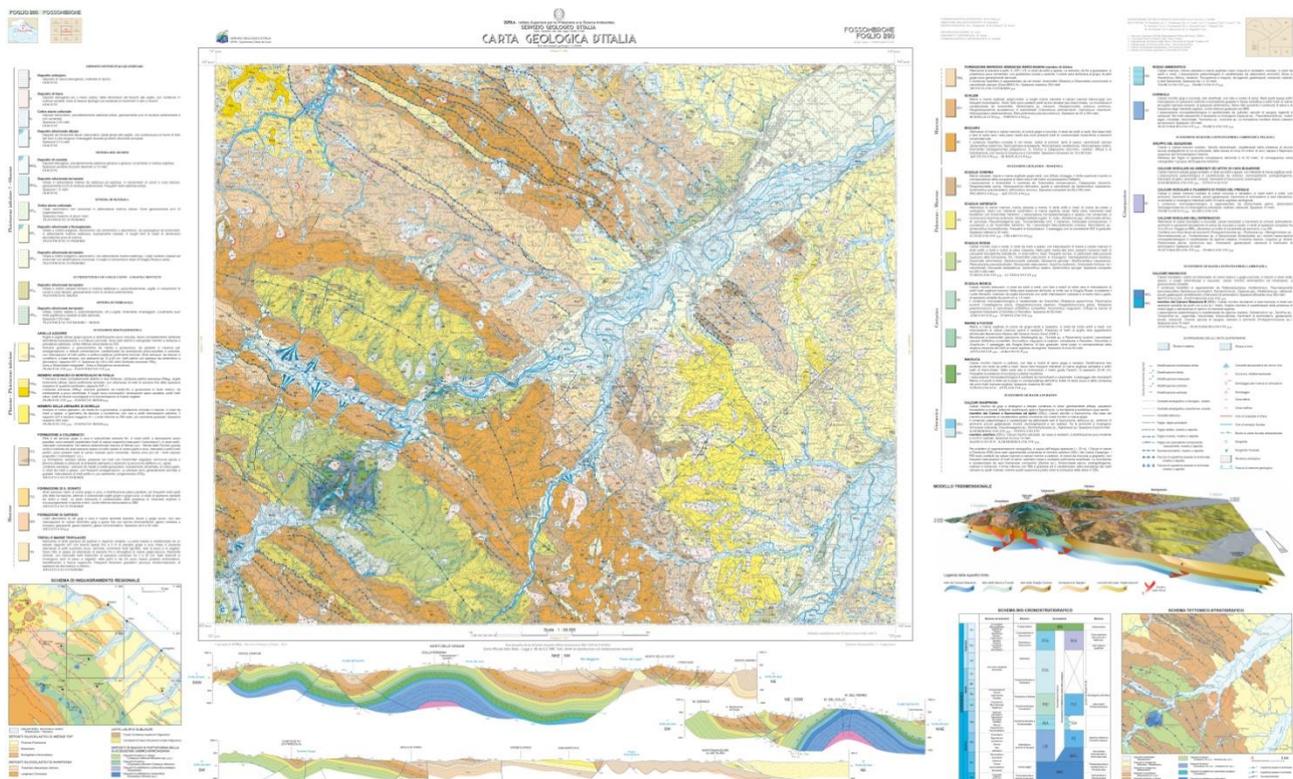


Fig. 7 - Foglio n. 280 "Fossombrone" con rappresentazione statica del relativo modello geologico 3D.

2. – FASI DI LAVORO

Nonostante l'elaborazione di un modello geologico 3D rappresenti un unico, in funzione del contesto geologico, delle caratteristiche geometriche, della profondità degli elementi investigati, nonché della disponibilità di dati in relazione all'applicazione che si intende servire, si descrivono di seguito: le principali fasi di lavoro (Fig. 8), i requisiti minimi per l'acquisizione, interpretazione e integrazione dei dati e per la realizzazione di modelli geologici tridimensionali nell'ambito del Progetto CARG.

2.1. - DEFINIZIONE DELL'OBBIETTIVO E DEL MODELLO CONCETTUALE

Prima di avviare la fase di elaborazione di un modello tridimensionale, occorre definire quale sia l'obiettivo che s'intende raggiungere e che si ritiene di maggiore interesse per il foglio che si sta realizzando. La definizione dell'obiettivo non potrà essere disgiunta da una verifica della disponibilità di dati geologici e geofisici utili e sufficienti, per livello di dettaglio, parametri numerici, e profondità da investigare, per elaborare un modello geologico consistente con l'obiettivo identificato.

Tale fase di definizione dell'obiettivo deve procedere in parallelo con la definizione del modello concettuale che individui le unità geologiche, il tipo di superfici limite, e le strutture tettoniche che sono utili alla descrizione dell'assetto dei corpi nel sottosuolo e che possono garantire le successive applicazioni del modello.

La definizione del modello concettuale si dovrà basare sulle conoscenze derivanti dalla cartografia esistente, in particolare Fogli geologici limitrofi se disponibili, e dalla letteratura, nonché utilizzare, per quanto possibile, la medesima nomenclatura delle unità geologiche presenti in superficie a livello regionale e nella legenda del foglio geologico corrispondente, per garantire una più immediata lettura e comprensione del modello stesso. Sarà altresì fondamentale fare ricorso ai termini litologici previsti dalla Banca dati CARG – tabella T0180805000.

In generale è opportuno ricordare che, come già evidenziato a pag. 32 del Quaderno n. 1, ser. III (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1992), per quanto riguarda il sottosuolo, seguendo quanto previsto dall'*International Stratigraphic Guide* (SALVADOR, 1994), “se una unità denominata nel sottosuolo può essere correlata con una unità dello stesso tipo denominata in superficie ed è così simile alla prima che due nomi non siano necessari, come tipo dovrebbe essere preferita l’unità di superficie”. Inoltre è possibile istituire stratotipi nel sottosuolo solo se mancano sezioni adeguate dell’unità in superficie e comunque seguendo le regole e procedure generali previste per le unità affioranti (si veda [Special requirements for establishing subsurface units](#)).

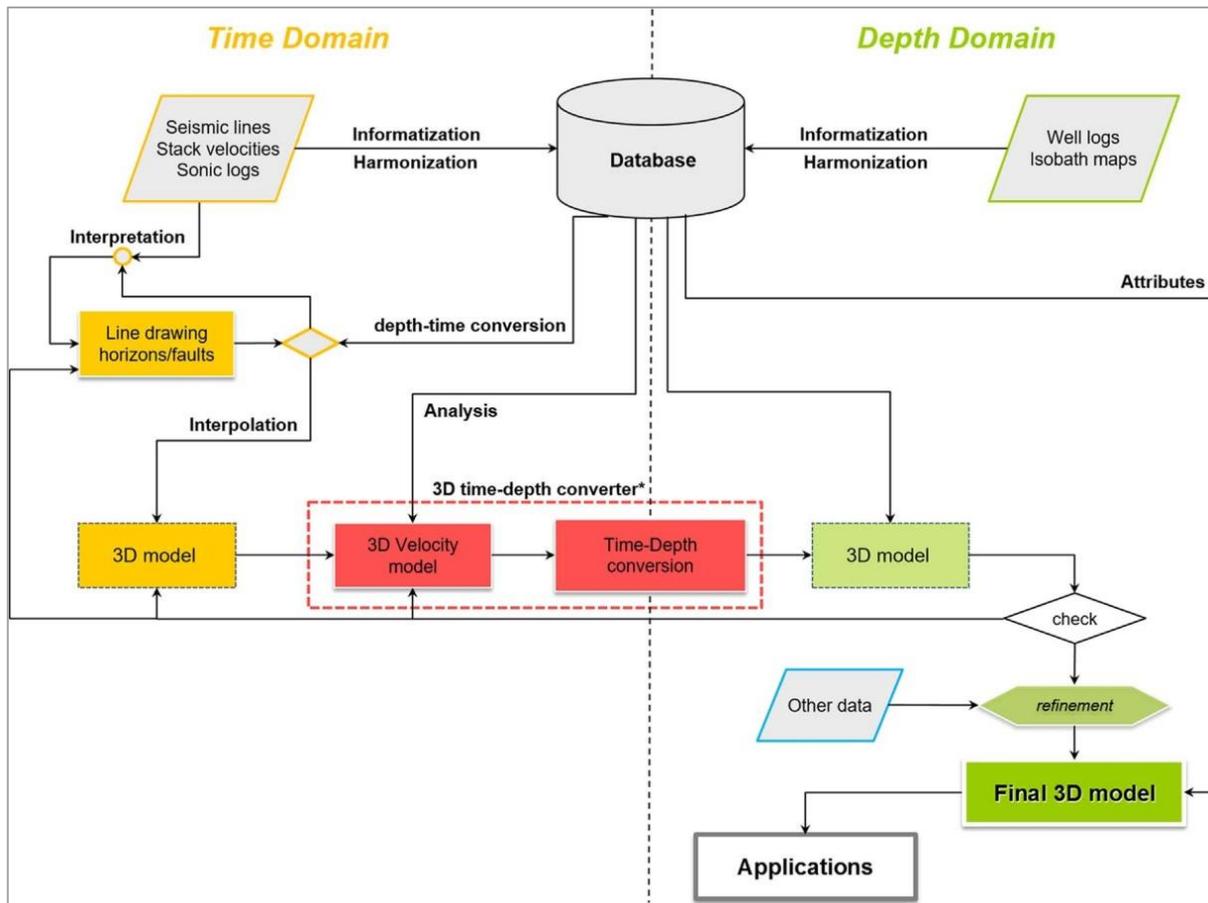


Fig. 8 – Fasi di lavoro per la costruzione di un modello geologico 3D con dati sia nel dominio dei tempi che in quello delle profondità; * indica le fasi di lavoro che possono essere realizzate attraverso il tool Vel-IO 3D (da MAESANO & D’AMBROGI, 2017).

2.2. - RACCOLTA E ORGANIZZAZIONE DEI DATI

In termini generali, i dati di input per la costruzione di un modello geologico 3D si possono raggruppare in:

2.2.1. - Modello digitale del terreno

Particolare attenzione dovrà essere posta alla scelta del DTM di riferimento che dovrà sempre accompagnare il modello geologico 3D realizzato, per conoscere le quote topografiche di riferimento. In generale, i valori di z nel modello geologico andranno espressi in quote assolute (rispetto al livello del mare, in metri).

2.2.2. - Dati derivanti dal rilevamento geologico di terreno

Giaciture e andamento dei limiti, stratigrafici o strutturali, dove disponibili, unitamente a sezioni geologiche opportunamente orientate. Essi forniscono vincoli geometrici essenziali per la costruzione del modello.

2.2.3. - Dati di sottosuolo

Sondaggi superficiali (L. 466/84), prove geognostiche, sondaggi profondi e linee sismiche a riflessione, sia pubblici che soggetti a riservatezza, dati gravimetrici, dati da altre indagini geofisiche (per i dettagli si vedano i paragrafi 2.4.1. e 2.4.2.).

I dati acquisiti dovranno essere organizzati e armonizzati in accordo con il modello concettuale (superfici limite e unità) precedentemente definito, utilizzando codici e attributi già previsti dalla Banca Dati CARG, al fine di favorire la massima integrazione e interoperabilità tra diversi set di dati. Nel caso di modelli geologici del primo sottosuolo (profondità < 500-600 metri), particolarmente utili per fini applicativi (risorse idriche, microzonazione sismica, subsidenza, opere infrastrutturali), la caratterizzazione e classificazione delle unità dovrà essere basata sulla classificazione prevista dalla Banca Dati Litologica.

Nei casi in cui si disponga di linee sismiche e/o della loro interpretazione (in TWT), sarà fondamentale porre particolare cura alla raccolta, organizzazione e analisi dei dati di velocità, o di quei dati che consentono di ricavare valori di velocità. La conoscenza delle variazioni, laterali e verticali, dei valori di velocità e dei relativi parametri determina, infatti, la scelta della migliore strategia di conversione in profondità dei dati.

2.3. - ELABORAZIONE DEL MODELLO 3D

Indipendentemente dal software utilizzato per la sua costruzione, se i dati di input non richiedono processi di conversione tempi-profondità (es. le linee sismiche) o di inversione dei dati geofisici, il modello geologico 3D potrà essere realizzato direttamente nel dominio delle profondità attraverso un'integrazione di tutti i dati disponibili, opportunamente e preventivamente organizzati e codificati, ivi inclusi quelli definiti nel foglio geologico corrispondente.

Nei casi in cui si disponga di linee sismiche, in cui i valori delle z sono espressi in tempi (TWT), sarà necessario realizzare un modello di velocità che consenta la conversione dei valori di z in profondità. La scelta del modello di velocità da adottare deve tenere conto della disponibilità di dati (tabelle Tempi-Profondità, *Vertical Seismic Profile*, *Stacking velocity*, dati dalla letteratura) e delle caratteristiche dell'area.

Qualunque sia il modello di velocità adottato (es. 2D o 3D, a velocità media, intervallare, o istantanea) esso andrà dettagliatamente descritto e i dati relativi dovranno accompagnare il modello geologico 3D.

Il modello geologico 3D realizzato in tempi e convertito in profondità andrà successivamente sottoposto a verifica, integrato con i dati in profondità disponibili e con i vincoli di superficie (se applicabile) e sottoposto a operazioni di raffinamento.

Per consentire questa fase di verifica, è opportuno identificare un certo numero di dati di controllo, da non includere come dati di input, e da utilizzare per testare la capacità predittiva e l'accuratezza del modello; tali dati potranno essere poi utilizzati per il raffinamento del modello stesso.

In aree in cui si disponga anche di dati gravimetrici o derivanti da altre indagini geofisiche, questi potranno essere utilizzati, a seguito di inversione e modellazione, per la verifica e a integrazione del modello geologico elaborato (ISPRA, 2015).

2.4. - PREDISPOSIZIONE DEI DATI DI OUTPUT

A differenza del foglio geologico e del foglio geologico di sottosuolo, il modello geologico 3D esiste solo nella sua forma digitale; gli standard per la sua restituzione sono quindi esclusivamente legati all'organizzazione dei dati, alla definizione degli attributi, alla compilazione del metadato per consentire un efficace utilizzo delle informazioni.

Sono in fase d'implementazione: la definizione della struttura della banca dati dei modelli geologici 3D (entro fine 2022), il visualizzatore con il quale sarà possibile navigare e interrogare gli oggetti modellati, un metadato (standard ISO) in grado di contenere tutte le informazioni necessarie a descrivere il modello (entro fine 2022).

Bibliografia

APAT - SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2005) - *Foglio n. 256 "Rimini" della Carta Geologica d'Italia 1:50.000.*

APAT - SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2007a) - *Foglio n. 128 "Venezia" della Carta Geologica d'Italia 1:50.000.*

APAT - SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2007b) - *Foglio n. 148-149 "Chioggia-Malamocco" della Carta Geologica d'Italia 1:50.000.*

BORRACCINI F., DE DONATIS M., D'AMBROGI C. & PANTALONI M. (2004) – *Il Foglio 280-Fossombrone 3D: un progetto pilota per la cartografia geologica nazionale alla scala 1:50.000 in tre dimensioni.* Boll. Soc. Geol. It., 123, 319-331.

CIBIN U. & STEFANI M. (2009) – *Note illustrative del Foglio n. 187 "Codigoro" della Carta Geologica d'Italia 1:50.000.* ISPRA- Servizio Geologico Nazionale.

COMITATO COORDINAMENTO AREE DI PIANURA (1999) – *La carta geologica di pianura in scala 1:50.000 – Linee guida per il rilevamento e la cartografia.* Prestampa a cura della Regione Emilia-Romagna – Ufficio geologico.

D'AMBROGI C., PANTALONI M., BORRACCINI F. & DE DONATIS M. (2004) - *3D geological model of the sheet 280 Fossombrone (Northern Apennines) - Geological Map of Italy 1:50,000.* In G. PASQUARÈ, C. VENTURINI & G. GROPELLI Eds., Atlas "Mapping geology in Italy". APAT. 193-198. S.E.L.CA. Firenze.

ISPRA - SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2009) - *Foglio n. 187 "Codigoro" della Carta Geologica d'Italia 1:50.000.*

ISPRA (2015) - *Modello geologico 3D e geopotenziali della Pianura Padana centrale (Progetto GeoMol).* Rapporti ISPRA, 234/2015, pp. 104 e Appendice. ISBN 978-88-448-0753-5.

https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/R_234_15.pdf

https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/R_234_15_Appendice2_GeoMol.pdf

ISPRA - SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2017) - *Foglio n. 280 "Fossombrone" della Carta Geologica d'Italia 1:50.000, con Note Illustrative.* ISBN 978-88-9311-058-7

- MAESANO F.E. & D'AMBROGI C. (2017) - *Vel-IO 3D: a tool for 3D velocity model construction, optimization and time-depth conversion in 3D geological modeling workflow*. Computers & Geosciences, 99, 171-182. doi: 10.1016/j.cageo.2016.11.013
- PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI – SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2002) – *Foglio n. 223 "Ravenna" della Carta Geologica d'Italia 1:50.000*.
- SALVADOR A. (1994) – *International Stratigraphic Guide. A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure*. The International Union of Geological Sciences and the Geological Society of America (Eds.): pp. 214.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1992) – *Carta geologica d'Italia – 1:50.000. Guida al rilevamento*. Quaderni, serie III, vol. 1.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1996) – *Carta geologica d'Italia – 1:50.000. Guida alla rappresentazione cartografica*. Quaderni, serie III, vol. 2.