



Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici



**INFORMATIZZAZIONE E ASSEGNAZIONE DI ATTRIBUTI LITOLOGICI ALLE
FORMAZIONI GEOLOGICHE PRESENTI SULLA CARTA GEOLOGICA D' ITALIA ALLA
SCALA 1 : 100000**

TIROCINANTI

Dr. Gianni Cione

Dr.ssa Marida Paci

Tutor: Dr. Alfredo Pantaleone

RIASSUNTO

A partire dalla vettorializzazione della cartografia geologica ufficiale italiana alla scala 1:100.000 è stata realizzata la carta litologica per 12 dei 277 fogli che la compongono, utilizzando una legenda litotecnica comune a tutto il territorio nazionale. La carta litologica è stata prodotta utilizzando un processo di *data entry* nel software ArcGis, a cui sono succedute una fase di controllo della qualità dei dati e una di revisione dei dati incongruenti. Il risultato finale di questo procedimento è una carta che contiene solo una minima parte delle informazioni deducibili dalla carta geologica, ma fornisce una valida base, a scala nazionale, per lo sviluppo pressoché immediato di molteplici carte tematiche (idrogeologiche, zonazione sismica, geomorfologiche, valutazione impatto ambientale, ecc.) utilizzabili nelle più disparate applicazioni pratiche.

ABSTRACT

From vectorialization of geological maps of Italy in scale 1:100.000, is made the lithological map for 12 of the 277 paper that made it, utilizing an unitary lithotechnical legend common at all national territory. The lithological map was produced with ArcGis software by a data entry process, whom was succeeded a control phase of data quality and a revision phase of data incongruous. The final result of this processing is a map that contain only a little part of information deducing from geological map, but give a efficient base, of national significance, for the immediate development of numerous thematic maps (hidrogeological, seismic zoning , geomorphological, environmental impact evaluation, ecc.) utilizable in a lot practical applications.

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	pag 4
2.	AREA DI STUDIO.....	pag 6
2.1	Inquadramento geologico-strutturale.....	pag 7
2.2	Inquadramento geomorfologico.....	pag 13
3.	METODOLOGIA.....	pag 23
3.1	Strumenti utilizzati.....	pag 23
3.1.1	Generalità sui GIS.....	pag 23
3.1.2	Architettura di ArcGIS.....	pag 27
3.2	La legenda litologica.....	pag 36
3.3	Metodo di lavoro.....	pag 42
4.	ANALISI DEI DATI.....	pag 49
4.1	Descrizione dei dati ottenuti.....	pag 49
4.2	Analisi dei dati.....	pag 57
5.	CONDIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	pag 60

6.	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	pag 63
7.	RINGRAZIAMENTI.....	pag 68

1. INTRODUZIONE

L'obiettivo di realizzare con la cartografia un modello della realtà, su cui basarsi per progettare interventi e documentare le trasformazioni del territorio, è comune alle diverse epoche storiche.

In questi ultimi anni, il modo di concepire la cartografia e le varie discipline che si servono di un modello cartografico della realtà sono stati intimamente rivoluzionati dall'informatica e dal progresso tecnologico-culturale ad essa connesso. Questo nuovo modo di trattare l'informazione permette di concepire effettivamente il territorio come una «categoria unificante» delle diverse attività di trasformazione naturale ed antropica che vi si svolgono (Imbesi, 1978). L'espressione informatica di ogni elemento territoriale, consente di associargli degli insiemi di informazioni molto più estesi di quelli esprimibili graficamente in una rappresentazione tradizionale. La stessa posizione di un elemento territoriale di tipo spaziale con altri elementi diventano esplicite informazioni: la distanza di un elemento da un altro, gli elementi coinvolti in una fascia di influenza, l'inclusione di un oggetto in un altro, l'adiacenza con altri elementi, sono funzioni implicite nella gestione informatica della cartografia e aumentano di molto l'utilizzabilità ed il valore informativo aggiunto rispetto alla cartografia tradizionale (Rovaris, 1995).

Le attività che si confrontano con il territorio, sia per scopi scientifico-conoscitivi che di progettazione e pianificazione, hanno subito una progressiva evoluzione di pari passo con lo sviluppo dell'urbanizzazione, causando l'aumento esponenziale della richiesta di informazioni di cui occorre conoscere anche la localizzazione e la distribuzione. Sta quindi maturando, anche nella pubblica amministrazione, la necessità di investire nella definizione di un modello del territorio, con lo scopo di meglio conoscere, progettare e decidere.

Tra l'ampia gamma dei modelli possibili, l'APAT (*Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici*) ha scelto di investire nella realizzazione di un modello litologico del territorio, utilizzabile come base da cui sviluppare molti altri tematismi.

Il presente elaborato si inserisce pertanto all'interno del progetto APAT di redazione di una carta litologica a copertura nazionale, a partire dal lavoro fondamentale di vettorializzazione della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000. Quest'ultimo è stato dettato dalla necessità di disporre di uno strato informativo geologico (vettoriale) che

facesse fronte alla sempre crescente richiesta di conoscenza del territorio nazionale per un suo utilizzo nei sistemi informativi geografici.

La vettorializzazione dei 277 fogli della Carta Geologica d'Italia ha comportato, per ogni foglio geologico, la produzione di *shapefile* di tipo poligonale, lineare e puntuale, sulla base di precise specifiche tecniche di digitalizzazione delle coperture geologiche.

La poligonizzazione delle unità affioranti e il loro inserimento in un sistema informativo geografico offre la possibilità di assegnare a tali unità degli attributi significativi, che permettono di creare carte tematiche derivate utilizzando come fonte dei dati tematici il foglio geologico con la sua legenda e le note illustrative, qualora presenti. Questi attributi possono essere impiegati per omogeneizzare i dati ove questi, nelle fonti, si presentino poco coerenti o discordanti (Conte, 2005).

Il primo passo è stato quello di raggruppare le innumerevoli formazioni geologiche presenti nei 277 fogli della Carta Geologica (tratta da "Mapset repertorio completo della cartografia geologica d'Italia"), sulla base delle loro caratteristiche litologico-tecniche, in modo funzionale rispetto ad esigenze di tipo applicativo, cercando di superar le specificità locali per di ottenere un prodotto di portata nazionale da cui derivare il maggior numero possibile di tematismi. La redazione di un modello ottimale di legenda litologica unitaria di tipo geologico-applicativo è un processo graduale, tuttora in via di evoluzione, fondato sulla formulazione di ipotesi classificative approvate, scartate o modificate avanzando iterativamente durante la progressiva redazione dei fogli litologici.

Il presente lavoro riguarda l'elaborazione in ambiente GIS (*Geographic Information System*) di 12 fogli vettorializzati tra loro confinanti, procedendo per 3 fasi distinte.

La prima fase ha comportato l'assegnazione, a ciascuna delle voci di legenda presenti in ogni foglio geologico, del codice identificativo corrispondente alle caratteristiche litotecniche della formazione in esame. Nella fase successiva si è verificata la qualità delle interpretazioni alla luce di una visione d'insieme delle unità cartografiche, valutandone continuità e coerenza. Infine, attraverso ripetuti ed opportuni aggiustamenti, si è cercato di eliminare eventuali incongruenze al fine di ottenere un risultato quanto più soddisfacente.

I risultati finora ottenuti, seppur apprezzabili, possono essere oggetto di osservazioni critiche in merito alla congruenza; tuttavia si deve tener conto che il progetto è ancora in divenire, dunque passibile di modifiche e migliorie e destinato a subire una successiva fase di omogeneizzazione generale.

2. AREA DI STUDIO

I fogli geologici elaborati nel presente lavoro coprono una superficie di circa 16.000 km², ubicata nell'Italia nord-orientale e racchiusa dal poligono ideale che collega la Foce del Tagliamento, Verona, Bologna e Ravenna. L'area, prevalentemente pianeggiante, ricade all'interno dei territori regionali di Veneto, Lombardia ed Emilia Romagna, nel settore orientale della Pianura Padana, racchiusa tra le Alpi dolomitiche a Nord, l'Appennino Tosco-Emiliano a Sud e il mare Adriatico ad Est. La zona appare morfologicamente uniforme e poco elevata: per buona parte compresa al di sotto dei 20 metri s.l.m., fatta eccezione per la fascia collinare sud-appenninica, che si eleva fino a 100 metri s.l.m., alcune aree costiere in corrispondenza delle foci dei principali fiumi (Po, Sile, Livenza e Tagliamento) sono depresse al di sotto del l.m.

Cartograficamente l'area di studio è rintracciabile nei seguenti fogli della Carta Geologica d'Italia (CGI) in scala 1:100.000: 50 Padova, 51 Venezia, 52-53 S. Donà di Piave e Foce del Tagliamento, 63 Legnago, 64 Rovigo, 65 Adria, 75 Mirandola, 76 Ferrara, 77 Comacchio, 87 Bologna, 88 Imola, 89 Ravenna (fig 2.1).

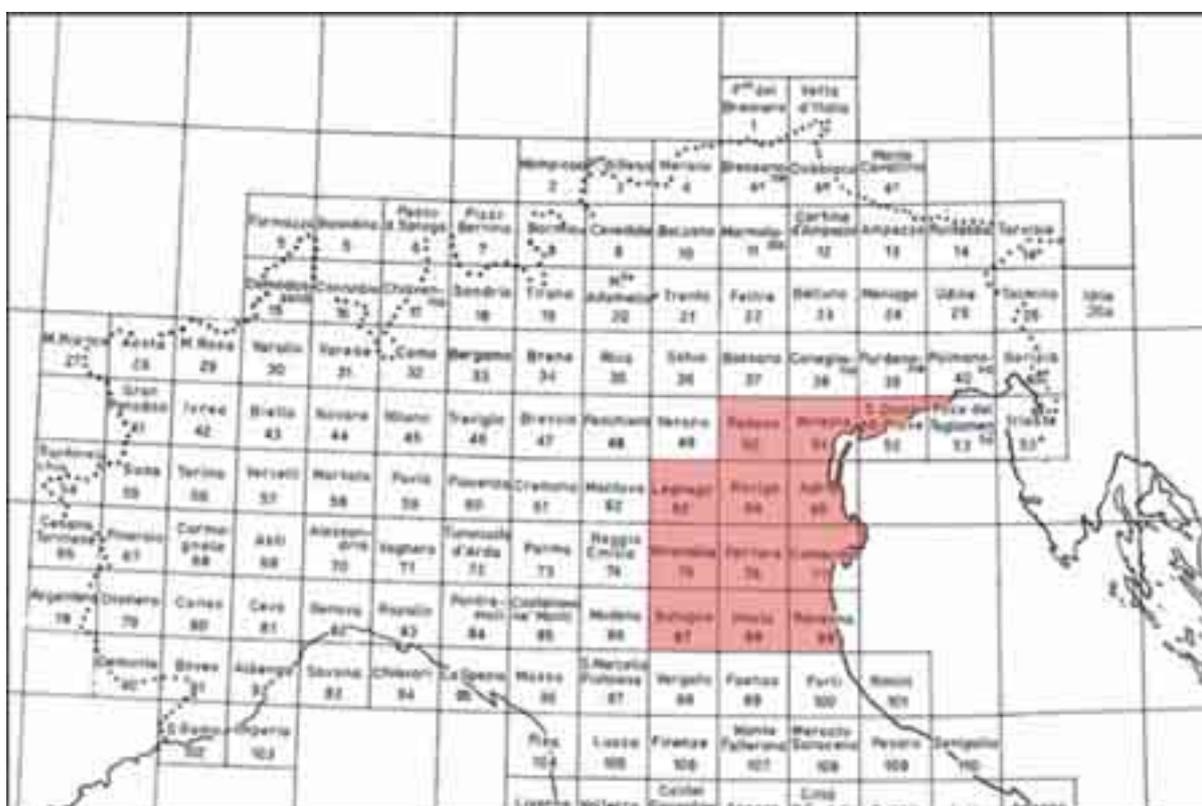


Figura 2.1: Quadro d' unione dell'Italia settentrionale della CGI scala 1:100.000; in rosso è evidenziata l' area di studio.

2.1. Inquadramento geologico-strutturale

La Pianura Padana, dal punto di vista geologico, è un bacino sedimentario terziario posto sulla terminazione settentrionale del blocco adriatico-pugliese. La sua origine è lunga e complessa, le vicende evolutive sono state ricostruite sia attraverso indagini dettagliate di superficie, sia con l'acquisizione di dati a diversa profondità nel sottosuolo ad opera soprattutto delle compagnie petrolifere per ricerche di idrocarburi.

Essa è compresa tra il fronte degli opposti accavallamenti delle falde Sud-vergenti delle «Alpi Meridionali» e delle strutture appenniniche Nord-vergenti ed è quindi sottoposta al duplice fenomeno di compressione delle opposte catene (Gasperi, 2001). Il limite strutturale delle Alpi e dell'Appennino settentrionale non coincide con il limite orografico delle catene, ma si estende ampiamente nel sottosuolo della pianura dove queste si accavallano.

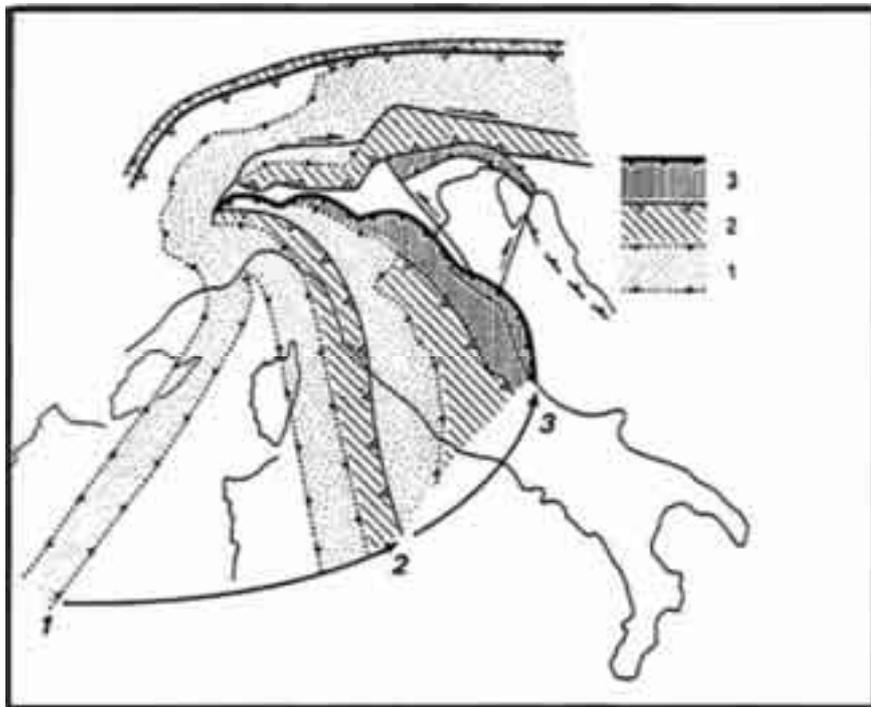


Figura 2.1.1: Tappe dell'accrezione tettonica delle Alpi Calceree Meridionali e dell'Appennino dall'Oligocene al Pleistocene (da Castellarin et alii, 1992, modif.). 1- presunto Fronte delle catene nel pre-Oligocene; 2- Fronte delle catene nel Miocene medio; 3- idem, nel Plio-Pleistocene (tratto da Gasperi, 2001).

L'orogenesi Alpina si svolge in più fasi dal Cretacico all'Attuale, generando una catena composta da due sistemi tettonici separati dalla Linea Insubrica: due classici edifici

a falde accavallate, uno a vergenza europea, l'altro a vergenza opposta, africana, che forma le «Alpi Meridionali» o Sudalpino. Queste ultime, poste a Sud della Linea Insubrica e affacciati direttamente sulla Pianura Padana derivano completamente dall'antico margine continentale africano. Tettonicamente si evolvono secondo due sistemi di fasce strutturali ad andamento arcuato: il sistema occidentale lombardo si accresce verso Sud, successivamente quello orientale veneto si sviluppa verso Sud-Est (Castellarin *et alii*, 1992).

Dal Cretaceo superiore al Plio-Pleistocene, la tettonica compressiva ha strutturato la catena Appenninica Settentrionale a spese dei domini paleogeografici meso-cenozoici, disarticolandoli in diversi elementi tettonici. L'orogenesi appenninica, strettamente collegata all'evoluzione estensionale del Mediterraneo occidentale, ha portato le unità Liguri a formare una estesa coltre alloctona che si accavalla, a partire dal Miocene inferiore, sopra agli altri domini fino al margine padano degli Appennini (Gasperi *et alii*, 1984; Castellarin *et alii*, 1985). Nel Pliocene e nel Pleistocene il fronte della catena si struttura in una serie di archi, contemporaneamente allo sviluppo dell'arco alpino orientale.

Durante tutto il Mesozoico l'area dell'attuale Pianura Padana costituisce l'avampaese comune delle due catene che, a partire dall'Oligocene, evolve in avanfossa, prima legata al Sudalpino poi, dal Messiniano, alla catena Appenninica. L'avanzata delle opposte falde, sviluppatasi in due fasi distinte ha generato sprofondamenti flessurali nell'antistante avampaese padano e il formarsi di successivi bacini di avanfossa confinanti al margine delle due catene in sollevamento. Conseguentemente le due avanfosse a polarità opposta si accrescono in successione sullo stesso avampaese fino ad arrivare in parte a sovrapporsi (Boccaletti *et alii*, 1990).

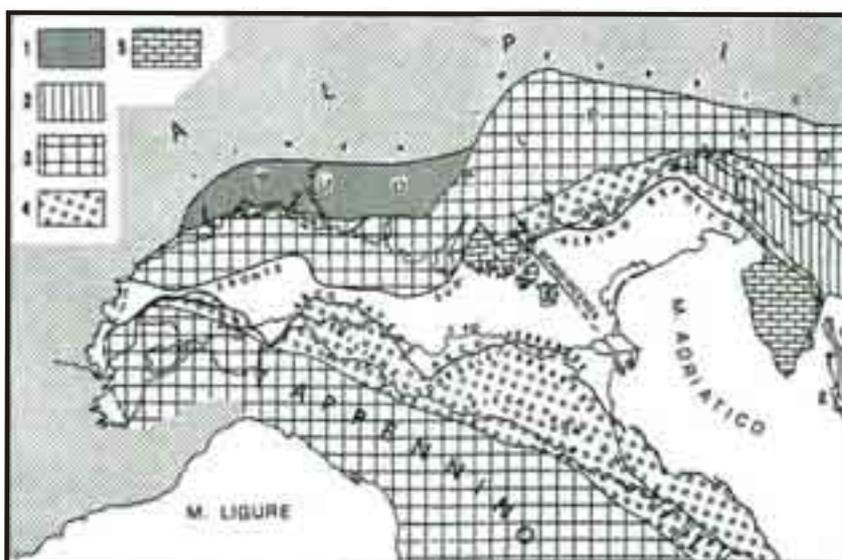


Figura 2.1.2: Schema strutturale della Pianura Padana e delle adiacenti catene (da Castellarin *et alii*, modif.).

Legenda: età della strutturazione tettonica: 1- eoalpina; 2- mesoalpina; 3- miocenica; 4- messiniana e plio-pleistocenica; 5 - avampaese; L- M.ti Lessini; E- M.ti Euganei; B- M.ti Berici.

I sedimenti triassici-miocenici presenti nel substrato della pianura, correlabili con quelli affioranti nel Sudalpino, sono caratterizzati dalle facies tipiche del margine passivo africano con ampio sviluppo di piattaforme carbonatiche dal Trias al Giurassico inferiore. Nel Giurassico segue un generale sprofondamento di dette piattaforme con la deposizione di sequenze bacinali con marne, calcari pelagici, selci e sedimenti torbiditici di provenienza settentrionale fino all'Eocene; soltanto un'isolata piattaforma a Rudiste (piattaforma di Bagnolo) permane fino alla fine del Cretaceo inferiore, attualmente rintracciata nel sottosuolo a Nord di Reggio Emilia ad una profondità di oltre 4.500 m (Bosellini *et alii*, 1981).

L'area della Pianura Padana viene coinvolta in parte nell'orogenesi delle adiacenti catene a partire dall'Oligocene. A questo punto il quadro geodinamico cambia: da margine subsidente di tipo passivo l'area padana passa a margine continentale attivo con l'individuarsi, in successione, di due bacini molassici sinorogenici, il più antico legato alle Alpi e l'altro, pliocenico-quadernario, legato all'orogenesi appenninica. Hanno ora inizio un'accentuata subsidenza e un imponente apporto detritico che, unitamente all'attività convergente obliqua delle zolle europea e apulo-africana, danno luogo allo svilupparsi di diversi cicli sedimentari con contatti discontinui di estensione regionale.

Dal Messiniano al Quaternario, contemporaneamente all'apertura del Mar Tirreno, la tettonica accrezionale dell'Appennino settentrionale coinvolge le zone esterne della catena e la migrazione dell'avanfossa arriva ad interessare l'avampaese padano (Cremonini & Ricci Lucchi, 1982; Gasperi *et alii*, 1986; Castellarin *et alii*, 1985; Vai, 1987; Conti & geloni, 1994). All'estremità occidentale della pianura, l'accentuarsi della rotazione delle Alpi Liguri riduce drasticamente l'estensione dell'avampaese. Il settore veneto, tettonicamente attivo, è svincolato da quello lombardo, ormai inattivo, per mezzo della linea Schio-Vicenza.

La ripresa della sedimentazione avviene principalmente a ridosso del margine settentrionale dell'Appennino, lungo una fascia che si estende dal Piemonte meridionale fino alle Marche; l'Appennino ormai emerso fornisce all'avanfossa grandi quantità di detrito (Dondi & D'Andrea, 1984; Ricci Lucchi, 1984).

Nel Messiniano, durante l'abbassamento del livello del mare causato dall'isolamento del Mediterraneo, inizia il nuovo ciclo sedimentario con la deposizione per lo più di torbiditi di ambiente salmastro in profondi bacini bordati da alti strutturali e isolati dal resto del Mediterraneo.

All'inizio del Pliocene si ha una fase di generale trasgressione dovuta al sollevamento del livello del mare che arriva a coprire ampie aree prima emerse. Vaste zone vengono interessate da deposizione pelitica (Formazione delle argille del Santerno), mentre nelle zone più profonde si depongono torbiditi arenaceo-pelitiche di piana bacinale e di conoide sottomarina (Formazione di Porto Corsini e di Porto Garibaldi). Depositi di mare poco profondo caratterizzano le aree piemontesi (Sabbie di Asti), la Pianura Veneta (Sabbie di Eraclea) e alcuni alti strutturali situati quasi al centro della pianura. Lungo il bordo alpino invece i sedimenti del Pliocene inferiore sono assenti o limitati ad aree ristrette. Le fasi tettoniche del Pliocene medio-superiore provocano l'emersione di diversi tratti all'interno della pianura. Il nuovo ciclo sedimentario marino iniziato con il Pleistocene porta al colmamento del bacino padano e il mare arriva a coprire quasi completamente le terre prima emerse.

Durante il Pliocene l'orogenesi appenninica coinvolge intensamente il bacino molassico appenninico con lo svilupparsi di sistemi di *thrust* nord-vergenti derivanti da una tettonica di embriciatura in condizioni sottomarine. I *thrust* ad andamento appenninico delineano strutture positive (antiformi) sovrascorrenti sulle aree sprofondate (sinformi) che le separano.

Diversi tratti all'interno della pianura emergono durante le fasi tettoniche del Pliocene medio-superiore. Con il Pleistocene inizia un nuovo ciclo sedimentario marino che determina il riempimento del bacino padano e la sommersione quasi totale di terre prima emerse.

L'intensa deposizione dei sedimenti del Pliocene inferiore e del Pliocene medio-superiore risulta fortemente controllata dalla tettonica compressiva; mentre i depositi quaternari registrano un forte rallentamento o addirittura l'interruzione di questa.

Nel Quaternario, infatti, l'attenuarsi dei movimenti tettonici nord-vergenti ha favorito il prevalere, nella fascia pedeappenninica, di una subsidenza generalizzata maggiormente accentuata. La sedimentazione colma con amplissime ondulazioni le depressioni residue che il sistema bacinale precedente aveva lasciato su tutta la Pianura Padana. I sedimenti plio-quaternari hanno uno spessore estremamente variabile legato alla subsidenza differenziale delle strutture tettoniche, che nelle zone di massimo accumulo supera i 7.000 m, mentre i sedimenti quaternari superano da soli i 2.000 m.

Il volume dei sedimenti pliocenici (prevalentemente argille e sabbie), depositi nella Pianura Padana, è stimato intorno ai 97.000 km³, quello dei depositi quaternari è di circa 95.000 km³ (Bartolini *et alii*, 1996). La grande quantità di sedimenti accumulati nel più

breve intervallo di tempo quaternario, può essere spiegata dalla maggiore velocità di sollevamento delle catene, con conseguente aumento del tasso di erodibilità dei versanti connesso alle ripetute fasi di deterioramento climatico tipiche del Pleistocene.

Tre grandi archi si susseguono dal Piemonte all'Adriatico involuando le strutture appenniniche padane e delineando il Fronte dell'Appennino sepolto. All'esterno del fronte si estende l'avampaese dell'Appennino pliocenico (Monoclinale Pedalpina). Nel settore lombardo il fronte appenninico si accavalla a luoghi sulle più antiche strutture frontali delle Alpi Meridionali, al di sotto dei depositi quaternari.

Lungo la fascia bordiera dell'Appennino padano i sedimenti pliocenici e quaternari si presentano piegati all'interno di una flessura immergente verso la pianura e affiorano poiché sollevati di alcune centinaia di metri. Questa struttura rappresenta il «Lineamento Frontale Appenninico» (fig. 2.1.4), ovvero la cerniera che congiunge la catena in sollevamento con l'avanfossa (fig. 2.1.3), attualmente in pieno sviluppo (Castellarin *et alii*, 1985; Gasperi *et alii*, 1989).

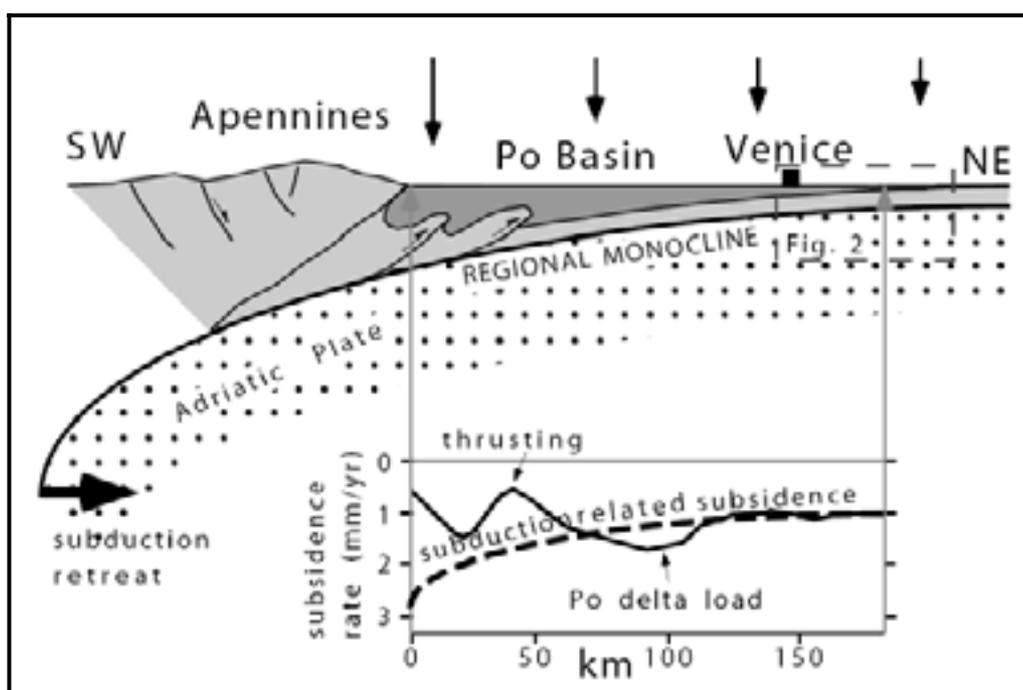


Figura 2.1.3: Profilo schematico attraverso l'Appennino e la Pianura Padana mostrante la curvatura flessurale della litosfera adriatica in subduzione sotto l'Appennino. La subsidenza indotta dall'arretramento flessurale della litosfera è perturbata dall'attività dei sovrascorrimenti (tratta da Scrocca *et alii*, 2006).

La pianura alluvionale acquista sempre maggiore estensione rispetto all'ambiente marino a causa dell'arresto o dell'inversione della subsidenza in concomitanza con una delle fasi glaciali quaternarie che hanno prodotto abbassamenti del livello del mare (fino a

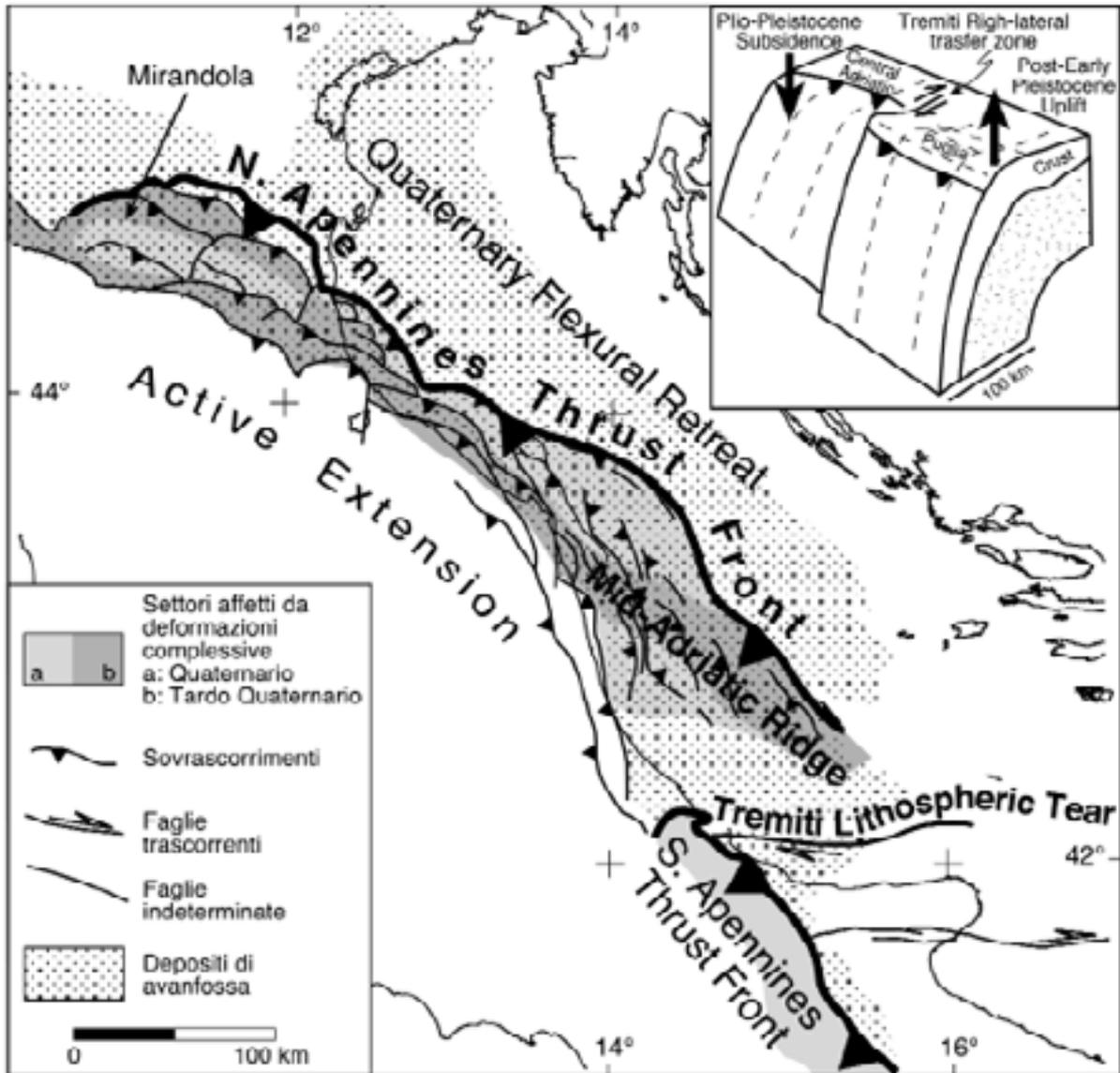


Figura 2.1.4: Schema tettonico del settore centro settentrionale del prisma di accezione Appenninico. Nel settore adriatico il fronte appenninico può essere tracciato sul lato NE della dorsale medioadriatica. Sono evidenziati i settori interessati da attività tettonica quaternaria o tardo quaternaria (tratta da Scrocca *et alii*, 2006).

100-150 m rispetto all'attuale) e aumento degli apporti dalle catene in sollevamento. Il mare, che dal Pliocene inferiore aveva abbandonato il settore più occidentale della pianura, già invaso da estesi conoidi di provenienza alpina, a partire da circa 1 milione di anni fa si ritira dai suoi margini e verso Est. Alcuni bracci di mare o lagune salmastre, persistono anche quando la maggior parte dell'area è emersa, a causa della subsidenza differenziale subita dalle depressioni e dagli alti strutturali che articolavano il fondo del bacino (Colombetti *et alii*, 1975). L'ultimo episodio di sedimentazione marina è rappresentato dalle «Sabbie Gialle» litorali, cioè da depositi sabbioso-ciottolosi di spiaggia che, grazie

anche all'abbondante apporto sedimentario, migrano verso il centro della pianura e verso l'Adriatico.

In seguito alla deposizione delle Sabbie Gialle, attribuite al Pleistocene medio-inferiore, la sedimentazione riprende generalmente in condizioni continentali o al massimo costiere e l'ambiente, disseminato di stagni e paludi, è dominato dalla dinamica fluviale. La subsidenza avviene ancora in modo differenziale ad opera della compattazione dei sedimenti e dell'attività di alcune strutture profonde, condizionando la deposizione dei sedimenti. Le strutture dell'Appennino sepolto causano deformazioni anche notevoli dei sedimenti continentali (Desio, 1965; Gasperi & Pellegrini, 1968; Gasperi et alii, 1989; Bartolini et alii, 1983) e deviazioni del percorso dei fiumi.

Il settore tettonicamente più attivo della Pianura Padana è quello veneto; dove è tuttora in atto il sottoscorrimento crostale della litosfera adriatica al di sotto delle Alpi orientali (Massari, 1990; Castellarin *et alii*, 1992), che causa l'intensa sismicità del settore.

Le strutture sepolte al di sotto dell'area pianiziale sono note solo attraverso le ricerche petrolifere profonde e quelle idriche, più superficiali. In superficie affiorano in modo per lo più uniforme depositi continentali recenti: depositi alluvionali, che presentano granulometrie diversificate, in genere più ghiaiose verso il margine appenninico e via via più fini, fino ai limi e alle argille, verso il mare. Più in profondità, questi sedimenti continuano per varie decine di metri, ma con spessori anche notevolmente diversi da luogo a luogo e in corpi prevalentemente lentiformi. Successivamente si rinvengono depositi marini, sia di spiaggia che di mare profondo, e infine la roccia vera e propria, variamente deformata e fratturata.

2.2. Inquadramento geomorfologico

Le forme del paesaggio nella Pianura Padana sono state plasmate dagli agenti naturali a partire dal sollevamento della catena alpina, quando lembi di superficie terrestre iniziarono ad emergere dal mare, favorendo lo smantellamento dei rilievi ad opera dell'erosione, mentre valli primitive andavano impostandosi sull'antica superficie topografica.

L'attuale regione pianeggiante deriva dal progressivo colmamento dell'antica insenatura marina incuneata tra Alpi e Appennini, operato in massima misura dal Po e dai

suoi affluenti, sia alpini che appenninici, per deposizione del materiale eroso dalle due catene. La Pianura Padana appare oggi distinta in due fasce differenti tra loro per altezza, natura dei terreni, regime delle acque e vegetazione. L'Alta pianura si stende ai piedi delle Prealpi e del pedemonte appenninico; è costituita da terreni grossolani poco coerenti ad elevata permeabilità, dunque piuttosto aridi, con una ridotta vegetazione e poco adatti all'agricoltura. La Bassa pianura invece è formata da materiali più fini, perlopiù argille, impermeabili o comunque poco permeabili, dove le acque ristagnano dando origine a paludi e acquitrini, soggetti a bonifiche e prosciugamento dei terreni da parte dell'uomo. Nella zona di transizione tra Alta e Bassa pianura si trova la fascia delle risorgive.



Figura 2.2.1: Zonazione della Pianura Padana (tratta dal sito www.hyperfvg.org)

Profondamente impressa su questi territori resta l'impronta delle grandi glaciazioni del passato; oggi gli agenti dei processi morfogenetici in atto, oltre a quello fluviale chiaramente prevalente, sono quello eolico, quello marino, il neotettonico e l'antropico.

Forme di accumulo glaciale - Precedentemente all'epoca delle grandi glaciazioni le Alpi avevano raggiunto uno stadio di maturità dovuto ad un ciclo di erosione normale. A questo paesaggio preglaciale si è sovrapposta l'opera delle grandi glaciazioni quaternarie, durate da circa 1,8 milioni a circa 10 mila anni fa, provocate da una fluttuazione climatica di vasta portata. Variazioni di temperatura dell'aria, entità e natura delle precipitazioni, qualità della radiazione solare diretta, percentuale statistica di presenza di copertura

nuvolosa e direzione dei venti, hanno causato le note espansioni glaciali, che a loro volta hanno provocato un sostanziale mutamento nelle forme del paesaggio della regione alpina e prealpina.

Esaminando le forme naturali delle valli alpine, che durante le fasi glaciali hanno subito l'invasione dei ghiacciai fino al loro sbocco in pianura, è facile individuare tracce delle quattro glaciazioni contemplate dallo schema tradizionale comunemente accettato. Ogni avanzata e ritiro dei ghiacciai all'interno di queste valli ha determinato la messa in posto di depositi glaciali, come testimoniano gli anfiteatri morenici del Pleistocene, allineati lungo il margine alpino a costituire gruppi di colline assai tipiche, che penetrano nella pianura per 20/30 km. Recentemente queste colline sono state oggetto di rimodellamento antropico per fini economici: terrazzamento agrario, spianamento e coltivazione di cave di detrito glaciale.

Le immense quantità di acqua che si resero disponibili nei periodi interglaciali non hanno smantellato gli anfiteatri morenici che oggi orlano quasi ovunque il margine pedemontano dei rilievi montuosi alpini. Queste colline moreniche costituivano tuttavia un ostacolo morfologico allo scorrimento delle acque di fusione, condizionando lo sviluppo della rete idrografica. In alcuni casi i fiumi si sono aperti una via attraverso le grandi masse di detriti ed hanno iniziato un'opera di erosione, trasporto e sedimentazione dei materiali, accumulando verso valle ciò che erodevano a monte. Si è quindi creata una sovrapposizione di depositi alluvionali, costituiti da materiali trasportati dal fiume, ai depositi glaciali.

Dove ciò non è stato possibile i fiumi hanno deviato il loro corso incidendo nuovi alvei, oppure hanno colmato le depressioni a monte dei depositi generando bacini lacustri, che intrappolano i sedimenti di provenienza alpina e tuttora rivestono grande importanza nella regolazione delle piene fluviali (Biancotti, 1995).

Forme e depositi fluviali - I caratteri morfologici attuali sono prevalentemente legati alle dinamiche fluviali delle principali aste presenti in questo areale (da Sud verso Nord Reno, Po, Adige, Brenta, Piave, Tagliamento). Durante le glaciazioni quaternarie, quando vasti tratti dell'attuale mare Adriatico erano in emersione, anche i fiumi che oggi sfociano direttamente nel mare confluivano nel Po. Tutti i grandi tributari di quest'ultimo scendono dalle Alpi, per questo il versante alpino della Pianura Padana risulta molto più espanso di quello appenninico: ciò dipende essenzialmente dalla maggior quantità di detriti

trasportati a valle dai fiumi alpini, in genere più impetuosi e con maggiori portate di quelli appenninici.

Il sistema deposizionale alluvionale della Pianura Padana è caratterizzato infatti da una rimarcabile differenza tra i depositi superficiali affioranti a Nord del Fiume Po rispetto a quelli presenti a Sud; il settore veneto, inoltre, si distingue da entrambi. Tali differenze sono senza dubbio imputabili a numerose cause: le caratteristiche stratigrafiche e geodinamiche delle due catene delle Alpi e dell'Appennino, gli assetti strutturali e tettonici propri dei vari settori.

Il F. Po, scorrendo sub-parallelamente alle direttrici tettoniche delle due catene, ripartisce la Pianura Padana in due settori: quello meridionale alimentato prevalentemente dall'Appennino e quello settentrionale dalle Alpi. Secondo dati del sottosuolo (Gr. St. Falde Acquifere Profonde, 1979) e di superficie, l'area di dominio del Po, procedendo verso Est dalla confluenza col Tanaro, si allarga progressivamente fino ad interferire, verso la piana costiera, con i sistemi dell'Adige e dei fiumi romagnoli (Marchetti, 2001).

Il bacino padano riceve dalle due catene montuose diversi tipi di detrito. Dall'Appennino giungono sedimenti derivanti da rocce calcaree e argillose, mentre a Est di Bologna (a E del F. Sillaro) prevalgono le provenienze arenacee. Dalle Alpi arrivano per lo più dolomie, calcari, rocce silicoclastiche e del basamento cristallino, dovuti all'erosione dei depositi glaciali, oltre che al disfacimento dalle litologie montane. La distribuzione dei sedimenti superficiali riflette tali differenze: quelli di provenienza alpina sono più grossolani e più sabbiosi rispetto agli appenninici dominati dalle argille, ad eccezione dei depositi affioranti nel settore ad Est del F. Sillaro, più sabbiosi. Le principali cause della minor granulometria dei depositi pedeappenninici sono: le minori portate fluviali, la prevalenza nei bacini di alimentazione di formazioni argillose, marnose e arenacee, la presenza di piane in subsidenza.

Nell'area di pertinenza alpina, la grossolanità dei depositi può essere attribuita alle maggiori portate dei fiumi, alle litologie più resistenti e anche alla presenza di accumuli glaciali pleistocenici che hanno reso disponibili ingenti quantità di materiali grossolani in prossimità degli sbocchi vallivi.

Nel settore più orientale della pianura sono presenti le torbe, rinvenute generalmente in zone dove il drenaggio risulta difficoltoso, ossia in corrispondenza di sedimenti pelitici subsidenti per compattazione o di aree depresse sbarrate sul lato di deflusso da dossi fluviali o da cordoni costieri affioranti.

La natura ghiaiosa e ciottolosa dei terreni che formano l'Alta pianura a ridosso delle colline, consente l'infiltrazione dell'acqua piovana, che penetra nel sottosuolo attraverso gli spazi esistenti fra i granuli e scende in profondità, fino a raggiungere uno strato impermeabile originando estesi acquiferi. Detto strato impermeabile, costituito da sedimenti più fini argilloso-sabbiosi che caratterizzano la Bassa pianura, costringe parte dell'acqua di falda a riemergere per proseguire il suo ciclo in superficie. I punti di affioramento delle acque sotterranee si allineano dunque ai piedi della fascia collinare, al passaggio tra Alta e Bassa pianura, dando luogo alla cosiddetta fascia delle risorgive.



Figura 2.2.2: Profilo della formazione della fascia delle risorgive (tratto Microsoft Encarta 2007) .

La pianura risulta quindi formata sostanzialmente da due tipi di depositi: quelli di conoide e quelli di pianura alluvionale. Le conoidi bordano il contatto alpino e nord-appenninico allineandosi in due fasce continue a luoghi interdigitate tra loro. In questa area il succedersi nel tempo di diversi momenti evolutivi, iniziati con una fase di prevalente sedimentazione e proseguiti con fasi caratterizzate dall'accentuarsi del processo erosivo, è testimoniato da numerose evidenze: la presenza sulle conoidi di terrazzi incastrati, la successione delle coltri alteritiche di potenza diversa, le forme fluviali risultanti da processi di aggradazione ed erosione. Il materiale eroso è stato deposto nel settore centrale e poi orientale della pianura, generandola con i dossi, le lagune, i lidi.

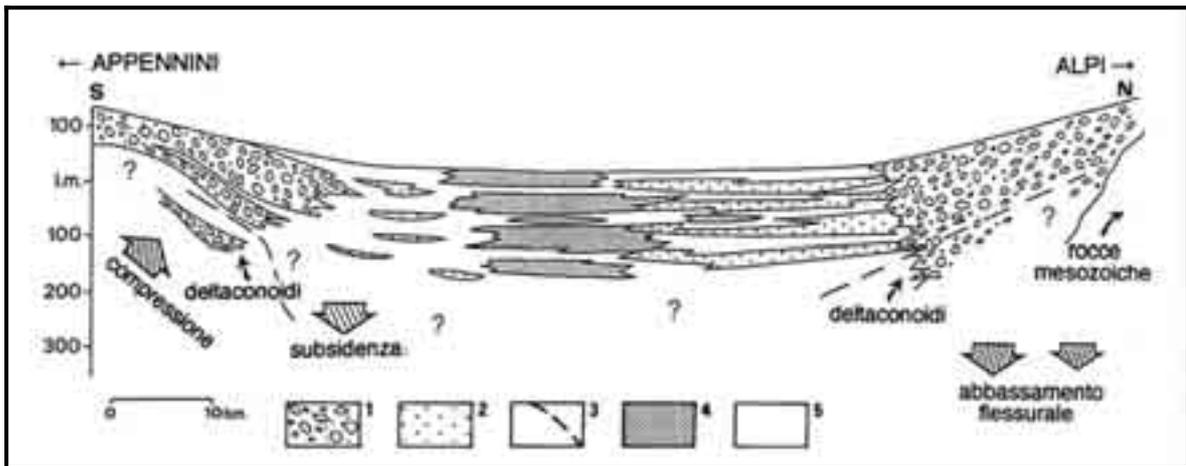


Figura 2.2.3: Profilo trasversale dei depositi continentali nella Pianura Padana. 1 - depositi di conoide; 2 - sabbie dei corsi d'acqua affluenti del Po; 3 - tetto dei sedimenti marini; 4 - sedimenti sabbiosi del Po; 5 - sedimenti argillosi-limosi (Marchetti, 2001).

Molto estese in tutta la pianura sono anche le superfici dei terrazzi (indicate dai vecchi autori coi termini «diluvium», «alluvium», «pianalto», ecc.), bordate da scarpate di terrazzo, per lo più convergenti, che li separano in diversi ordini. I terrazzi «climatici» deposti in continuità con i rilievi alpini sono più ampi di quelli di pertinenza appenninica, più ridotti e spesso deformati da movimenti tettonici; entrambi sono caratterizzati da pendenze superiori a quelle della piana circostante. I principali corsi d'acqua allo sbocco in pianura mostrano alvei fortemente incassati, come sottolineato dall'andamento delle scarpate. All'interno della pianura si individuano superfici molto simili a quelle dei terrazzi addossati ai rilievi; esse sono costituite da depositi glaciali, fluvioglaciali e fluviali, riferibili a fasi di aggradazione antecedenti all'ultimo massimo glaciale e isolati dall'erosione operata dalle acque superficiali nei successivi periodi interglaciali o glaciali.

Un'altra evidente superficie terrazzata molto estesa si rinviene tra i rilievi alpini e il Po, tra la Dora Baltea e Verona. Questa è denominata «livello fondamentale della pianura» ed è interpretata come il prodotto delle fasi di aggradazione fluvioglaciale e fluviale nella piana pedalpina in seguito all'ultima glaciazione (Petrucci & Tagliavini, 1969). È bordata a Sud dalle scarpate di erosione del Po ed è incisa dai principali corsi d'acqua attuali.

Sulle superfici più antiche della pianura sono comunemente diffuse vallecole modellate dallo scorrimento delle acque superficiali. Queste forme di erosione più o meno ramificate si impostano su terreni piuttosto pendenti la cui permeabilità ridotta è dovuta alla presenza di depositi *loessici* e coperture pedogeniche con spessore superiore al metro: lembi di superfici terrazzate o *glacis* di erosione. Tali vallecole hanno una duplice origine: in parte rappresentano i resti dell'antico reticolo idrografico abbandonato per disattivazione

delle superfici su cui era impostato; in parte costituiscono la risposta all'abbassamento del livello di base indotto dalle azioni di erosione, che hanno provocato il terrazzamento delle superfici stesse.

La continuità piatta della pianura alluvionale è interrotta da dossi fluviali nastriformi con uno sviluppo lineare massimo di decine di chilometri, che sono la testimonianza di corsi d'acqua pensili olocenici. La convessità della forma deriva da argini naturali di corsi d'acqua o dalla loro giustapposizione. Le diverse tipologie riconosciute assumono significati differenti nei vari settori: nell'alta pianura, sopra e lungo la fascia distale dei grandi conoidi le forme appaiono più tozze e linearmente poco sviluppate; i dossi della zona di pertinenza appenninica, esternamente ai conoidi, presentano invece lunghezze di diversi chilometri e si dipartono allargandosi a ventaglio dal conoide, quasi a rappresentarne una sorta di prolungamento. Nel pedemonte alpino i dossi più evidenti si trovano di solito nella media pianura al passaggio tra i depositi ghiaiosi e quelli sabbiosi. Poiché essi rappresentano tratti di argini naturali o barre di meandro di corsi d'acqua tardo-pleistocenici, con dimensioni e portate maggiori di quelle riferibili agli attuali corsi d'acqua alpini, sono da considerarsi forme non in equilibrio con l'odierno sistema morfodinamico. (Marchetti, 1992).

Collegati ai dossi sono spesso associati ventagli di esondazione.

Altre forme molto importanti, a livello della pianura, sono le tracce di alveo abbandonato, che possono presentare due diversi *pattern*. Le tracce di corsi d'acqua a canali intrecciati (*braided*) sono principalmente diffuse nel settore prossimale della piana di pertinenza alpina. Tali tracce sono state lasciate sulla superficie tardo-pleistocenica da corsi d'acqua alimentati dai ghiacciai, con una notevole variabilità di portata ed enormi quantità di carichi sedimentari trasportati. Infatti le tracce di idrografia abbandonata si rinvencono anche a notevoli distanze dal margine alpino, grazie alle ingenti portate solide e liquide dei corsi d'acqua. I tracciati di tipo monocursale meandriforme, assai numerosi in tutta la Pianura Padana, spesso sono rappresentati unicamente da curve di meandro abbandonato, ma, a volte, sono evidenti veri e propri cambiamenti di tracciato dei corsi d'acqua con tracce di avulsioni. Esse testimoniano la piena attività dei corsi d'acqua durante il periodo glaciale e costituiscono la naturale prosecuzione verso il depocentro del bacino delle tracce di tipo *braided*, localizzate nel settore centrale e occidentale della piana. Non di rado queste depressioni ospitano depositi torbosi formatisi durante l'Olocene, quando alcune di queste larghe tracce furono interessate da deflussi minori

Numerose altre tracce rappresentano variazioni oloceniche dell'idrografia, principalmente di epoca storica, che assumono rilevanza soprattutto nel settore orientale della Pianura Padana.

La Bassa pianura è caratterizzata da un gran numero di depressioni di estensione variabile (bacini, catini, valli), spesso fiancheggiate da dossi rilevati di origine fluviale o litoranea.

Altre depressioni sono localizzate in situazioni particolari alla base di sistemi collinari articolati in modo da delimitare insenature di pianura dove l'apporto solido, sia dei torrentelli locali che dei maggiori fiumi, è stato scarso o nullo. Tali depressioni, definite di sbarramento alluvionale, sono tipicamente palustri e anticamente possono essere state occupate da laghi. Nel territorio di Rovigo e Ferrara sono frequenti piccoli laghetti, quasi sempre privi di emissari e con immissari superficiali, derivanti da cavità di eversione scavate da acque fluviali disalveate, oggi alimentati soprattutto da acque di falda.

Forme e depositi di origine litoranea e lagunare – La fascia costiera arcuata, che rappresenta il limite orientale della Pianura Padana, si allunga per quasi 330 km ed è costituita da spiagge sottili, sottese da delta e lagune. Essa è suddivisa in diversi tratti che hanno subito nell'Olocene evoluzioni individuali a causa delle differenti condizioni di partenza (entità localmente assunta dalla subsidenza, movimenti neotettonici, processi di erosione o di sedimentazione) che si sommano al generale sollevamento del livello marino.

Alcuni tratti mostrano un'evoluzione risultante da un ciclo trasgressivo-regressivo, in altri, invece, si osservano sequenze sedimentarie prodotte unicamente da una fase trasgressiva. Fermo restando il valore di innalzamento del livello marino, comune a tutta la costa, dette differenze evolutive sono imputabili alle variazioni del rapporto tra movimenti verticali del suolo (subsidenza, neotettonica, isostasia, ecc.) e la sedimentazione costiera (aggradazione e progradazione).

Dove i tassi di subsidenza erano maggiori (Ravennate, Ferrarese e Veneto), l'innalzamento relativo del livello del mare ha superato la velocità di sedimentazione costiera, determinando una prima rapida traslazione verso Ovest della costa, articolata in lagune, delta e paludi; queste condizioni permangono fino all'Atlantico medio (Gasperi & Pellegrini, 1985; Bondesan *et alii*, 1995b). La sedimentazione caratteristica del ciclo trasgressivo, nella fascia costiera, comincia con un sottile strato di sedimenti lagunari, depositi direttamente sulle alluvioni del Pleistocene superiore e dell'Olocene inferiore;

seguono le sabbie litorali e, a luoghi, anche le peliti di *off-shore* (Veggiani, 1971; Favero & Serandrei, 1978; Bondesan *et alii*, 1995b). A partire da 5.000 anni fa ad oggi, l'aumento dell'apporto sedimentario fluviale ha innescato una fase di regressione deposizionale, con conseguente migrazione degli ambienti in senso inverso al precedente, che ha portato ad una progradazione della pianura mediante la costruzione di cordoni litorali (Marinelli, 1922-1948; Ciabatti, 1967; Veggiani, 1976; Castiglioni & Favero, 1987; Castiglioni *et alii*, 1990; Bondesan *et alii*, 1995b); questi sono particolarmente evidenti e numerosi in corrispondenza degli apparati deltizi consecutivi del Po e dell'Adige, che ha spesso condiviso con il Po larga parte delle aree di deltazione (Bondesan & Simeoni, 1983).

Dove la sedimentazione fluviale non è più riuscita a compensare la subsidenza, nelle fasce di avanzamento della pianura, si sono imposte la maggior parte delle paludi di questo tratto costiero e le Valli di Comacchio, che occupano di norma le aree di apparati deltizi abbandonati dal Po in epoca post-romana (Bordesani, 1990a).

Più a Nord, gli spostamenti della linea di riva sono stati sensibilmente minori per via dell'equilibrio dinamico instauratosi tra subsidenza, eustatismo e progradazione costiera nell'area attualmente occupata dalla Laguna di Venezia. A partire dal periodo Atlantico il regime lagunare ha iniziato ad estendersi più rapidamente: la laguna si è ampliata verso mare con la costruzione di nuovi lidi, fortemente favorita dalla convergenza, in questo tratto costiero, delle due principali direzioni del *drift* litoraneo; l'ampliamento verso terra è invece dovuto al fatto che negli ultimi secoli la sedimentazione continentale non è riuscita a compensare la subsidenza, anche a causa di modificazioni antropiche (Alberotanza *et alii*, 1977; Cavazzoni, 1977; Favero & Serandrei, 1980, 1983; Gatto & Carbognin, 1981; Favero, 1987).

I bassi tassi di subsidenza e la progradazione costiera relativamente scarsa hanno invece determinato una trasgressione continua degli ambienti lagunari sulla piana alluvionale retrostante al litorale veneto e friulano (Cavallin & Pirini Radrizzani, 1987; Cavallin *et alii*, 1987; Marocco, 1991a). Questa evoluzione trasgressiva è stata a luoghi contrastata da episodi di sedimentazione fluviale, che in generale hanno arginato l'espansione degli ambienti lagunari, e, localmente, hanno diviso le varie lagune per mezzo di rapidi protendimenti deltizi.

La fascia della pianura prossima al mare è contraddistinta da un complesso panorama di spiagge sabbiose e di foci fluviali attuali coesistenti con forme e depositi litoranei precedenti (strutture oloceniche successive alla fase di massima ingressione marina). Questi ultimi si trovano oggi generalmente sepolti a profondità variabili in

funzione della loro età e dell'entità della subsidenza naturale, così come i coevi livelli della bassa pianura retrostante (Bondesan & Giovannini, 1994).

I cordoni litoranei si possono presentare rilevati sulle aree circostanti oppure no, perchè spianati artificialmente o ribassati dalla subsidenza; questi ultimi talora sono parzialmente sepolti da ridotti spessori di sedimenti lagunari, palustri o fluviali. I cordoni che bordano le spiagge odierne raramente appaiono ben conservati, infatti spesso sono stati parzialmente smantellati o degradati dall'erosione marina e non di rado vengono totalmente spianati dall'azione antropica.

Forme eoliche - Le forme eoliche mostrano nettamente la separazione cronologica tra la fase deflattiva, oggi assente, e quella ablativa, oggi vigorosa. Durante le glaciazioni pleistoceniche, l'istaurarsi dell'intensa resistasia climatica ha permesso all'azione del vento di operare su vaste superfici, portando alla deposizione di coltri *loessiche* sia sul morenico prealpino, sia sul bordo nord-appenninico. Queste coltri sono oggi in via di smantellamento ad opera dei normali processi di erosione areale sui versanti, ma anche per l'azione antropica di cava.

Il fattore antropico - Anche l'uomo è entrato a far parte dei fattori che contribuiscono alle modificazioni delle forme del paesaggio ed alla sua evoluzione geomorfologica generale. È l'ultimo in ordine di tempo ma non certo per importanza, poiché le possibilità di operare modificazioni morfologiche di grande portata al paesaggio naturale sono potenzialmente illimitate. La colonizzazione delle sponde, con le conseguenti attività economiche ad essa legate, ha portato a modificare il tracciato naturale del corso dei fiumi sia ad opera degli scavi in alveo, oggi per fortuna scomparsi, sia a causa delle arginature costruite per limitare gli effetti dei processi erosivi dove essi possono costituire dei problemi. La sistemazione dei versanti montani per il loro sfruttamento a scopi agricoli, pastorali e abitativi ha ridotto drasticamente l'apporto solido dei torrenti. La coltivazione di cave, l'urbanizzazione intensiva della fascia costiera, la bonifica di vaste aree paludose, sono solo alcune delle più evidenti alterazioni antropiche dei naturali cicli geomorfologici.

3. METODOLOGIA

3.1 Strumenti utilizzati

I dati acquisiti per il presente lavoro sono stati elaborati con strumenti hardware e software in ambiente *Windows* e nella rete *Internet/Intranet*. Per l'inserimento dei dati è stato utilizzato ArcGIS 9.0, un applicativo GIS prodotto dalla ESRI (*Environmental Systems Research Institute*).

3.1.1 Generalità sui GIS

I GIS, ovvero *Geographic Information System*, sono “sistemi informativi per l'acquisizione, la memorizzazione, il controllo, l'integrazione, l'elaborazione e la rappresentazione di dati spazialmente riferiti alla superficie terrestre” (Arnaud *et alii*, 1993).

Il *Geographic Information System* nasce dall'integrazione del sistema di disegno computerizzato (CAD: *Computer Aided Design*) con i *database* relazionali. Il primo consente il disegno computerizzato degli oggetti geografici, i secondi l'immagazzinamento dei dati e delle informazioni legate a questi oggetti. L'integrazione dei due sistemi nei GIS ha realizzato il superamento del compromesso insito nel concetto stesso di rappresentazione cartografica tradizionale: di fatto tutte le raffigurazioni di entità geografiche sono sempre in qualche modo simboliche e restituite in scala, ossia basate su schemi rappresentativi secondo i quali un oggetto reale con determinate proprietà geometriche è riprodotto con uno specifico simbolo nella carta.

I Sistemi Informativi Geografici permettono di analizzare un'entità geografica oltre che nell'interessa della sua natura geometrica (quindi simbolica), anche nel suo totale contenuto informativo, poiché l'ingegneria del software realizza un legame tra ogni entità geografica e un *record* di un *database*. Inoltre, a differenza della cartografia cartacea, la “scala” in un GIS è un parametro di qualità del dato e non di visualizzazione. Il concetto di “scala” viene mantenuto nella cartografia numerica con il significato di massimo rapporto

di scala a cui si possa riprodurre una carta, in modo tale che abbia gli stessi requisiti qualitativi e metrici di una carta tradizionale avente la stessa scala. Tale rapporto prende il nome di scala nominale. La visualizzazione della cartografia digitale ad una scala superiore a quella nominale non può quindi fornire maggiori informazioni sugli oggetti cartografati, ma consente soltanto di leggerne meglio i dettagli.

Il GIS memorizza la posizione delle entità spaziali mediante un sistema di proiezione reale che definisce la posizione geografica dell'oggetto (georeferenziazione) ed è in grado di gestire contemporaneamente dati provenienti dai diversi sistemi di proiezione e di riferimento utilizzati nelle varie parti del mondo.

Le tipologie di informazioni gestite nel *database* relazionale sono tre. Le informazioni geometriche riguardano la raffigurazione grafica degli oggetti rappresentati: forma (punto, linea poligono), dimensione e posizione geografica. Le informazioni topologiche sono quelle concernenti le relazioni reciproche tra gli oggetti (connessione, adiacenza, inclusione ecc.). Le informative si riferiscono ai dati (numerici, testuali, ecc...) associati ad ogni oggetto. I diversi dati sono messi in relazione tra di loro sulla base del riferimento geografico che li accomuna, in modo da creare nuove informazioni a partire dai dati esistenti.

Per ottenere ciò, i GIS sono fondati su un data base geografico in grado di descrivere elementi del mondo reale, non solo in termini di posizione rispetto ad un sistema di riferimento, ma anche di attributi indipendenti dalla posizione, relazioni spaziali tra entità elementari quali punti, linee, poligoni, annotazioni. Un'unica piattaforma informatica riunisce in tal modo la possibilità di effettuare operazioni quantitative che non comportano un concetto di spazialità/localizzazione e quella di disporre di informazioni geometriche e geografiche per la realizzazione di analisi spaziali, di effettuare analisi automatiche e di gestire data base relazionali supportando un grande volume di dati.

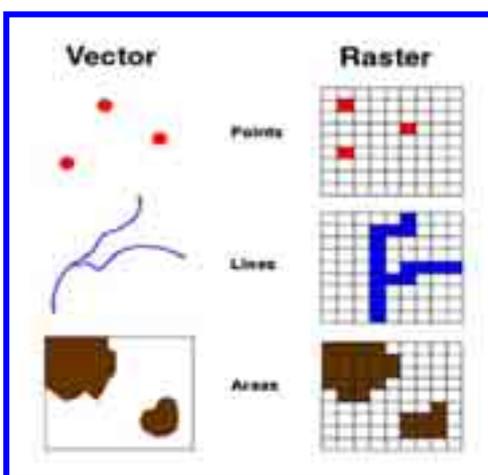
Tali sistemi sono in grado di produrre, gestire e analizzare dati spaziali associando a ciascun elemento geografico una o più descrizioni alfanumeriche. L'applicazione CAD si occupa della parte geometrica dell'entità spaziale, mentre la gestione della parte testuale di un dato spaziale (attributo) è affidata al DBMS (*Data Base Management System*), cioè un pacchetto software in grado di elaborare e recuperare basi di dati archiviati. Gli attributi, che possono risiedere anche su più sistemi ed essere aggiornati da molti applicativi, vengono memorizzati in questi *database* relazionali interrogabili mediante linguaggi di tipo SQL (*Structured Query Language*).

Tale disposizione permette di realizzare un legame tra le componenti (testuale e geometrica) dello stesso oggetto spaziale, rendendo possibile l'analisi e la visualizzazione di queste ultime attraverso un' *Interfaccia Grafica Utente (GUI)*.

La componente testuale è data dall' insieme dei *file* degli attributi che identificano un tema specifico, la parte geometrica è costituita da dati digitalizzati memorizzati in forma *raster* o *vettoriale*.

Il formato vettoriale è un sistema di archiviazione di dati grafici secondo il quale gli oggetti (punti, linee, poligoni) vengono codificati e memorizzati sulla base delle coordinate dei punti (nodi) che li compongono. Questa natura "numerica" degli elementi vettoriali conferisce loro una risoluzione indipendente dal fattore di scala (invarianza di scala legata ad una variazione in modulo). Inoltre, avendo una base numerica, gli elementi vettoriali possono essere espressi anche in formato matriciale, in cui le righe ospitano il numero dei punti o nodi di riferimento, mentre le colonne ospitano gli attributi associati ad ogni punto.

Nel formato raster, invece, qualsiasi immagine può essere pensata come un insieme di piccole entità elementari (*pixel*), ordinate secondo righe e colonne, tali da costituire una matrice. La precisione del dato è strettamente collegata alla dimensione del *pixel* (*pixel size*), generalmente espressa nell'unità di misura della carta (metri, chilometri etc.). Tanto più piccola è la dimensione della cella, maggiore è la risoluzione e maggiore sarà il dettaglio della mappa. Tuttavia, poiché le celle formano una maglia regolare sull'intera superficie, diminuire la dimensione della cella significa memorizzare i dati ad una maggiore risoluzione aumentandone considerevolmente il volume totale. I valori assegnati ad ogni cella contengono, in forma implicita, informazioni di tipo grafico (colore, tono di grigio, luminosità, saturazione, etc.), ed, in forma esplicita, informazioni di tipo descrittivo (temperatura, pendenza, etc.).



Il formato vettoriale offre molti vantaggi rispetto al formato raster: separazione tra differenti *layer* tematici; riproducibilità e gestione di oggetti e forme; separazione fra dato *raster* e dato *vector*, (ogni elemento *vector* è fisicamente separato sia dagli altri che da eventuali basi raster contenute nel progetto); dimensione dei *file* (il formato vettoriale garantisce dimensioni dei *file* notevolmente inferiori rispetto a formati *raster* di pari dimensioni areale e di pari accuratezza).

Figura 3.1.1.1: Simbologia raster e vettoriale (tratto da Gerbino, 2003)

In virtù delle loro caratteristiche specifiche i dati vettoriali ed i dati raster coesistono integrandosi, poiché si adattano ad usi diversi. La cartografia vettoriale è particolarmente indicata per la rappresentazione di dati che variano in modo discreto (edifici, strade, particelle, ecc.), la cartografia raster è più adatta alla rappresentazione di dati con variabilità continua (foto aeree, immagini da satellite, ecc.).

Inoltre i GIS sono dotati di un'architettura *multilayer*, che consente di predisporre un numero indefinito di basi raster. Ogni livello (*layer*) può ospitare un differente contenuto informativo graficamente svincolato e gli oggetti contenuti in ciascun *layer* possono essere gestiti in modo indipendente, ossia duplicati e/o modificati negli attributi caratteristici (posizione, dimensioni, riempimento, angolazione, ecc.). Quindi il GIS memorizza le informazioni geografiche come una serie di strati tematici (*layers*), relazionabili tra loro mediante collegamento e sovrapposizione geografica di più livelli informativi (*overlay*). Questo processo viene eseguito unendo spazialmente oggetti geografici da *layers* diversi. Dopo un *overlay* spaziale sia gli "attributi" sia le "forme" dei dati originali vengono "fusi" in un unico layer creando nuove relazioni spaziali (fig 3.1.1.3).



Figura 3.1.1.2: *Layers* tematici (fonte: Provincia di Brescia)

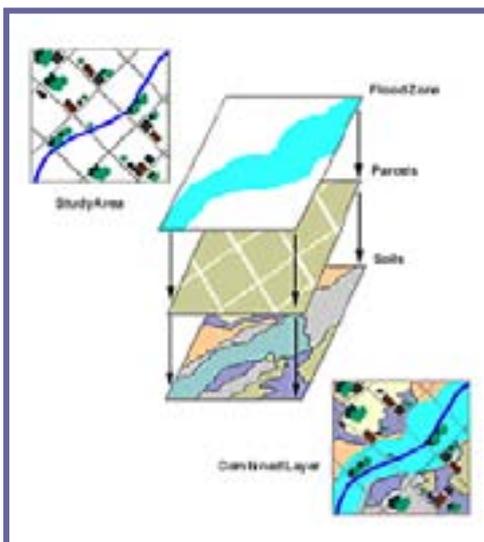


Figura 3.1.1.3: Operazione di *overlay* (tratta da Gerbino, 2003).

Una volta terminata l'operazione è possibile effettuare *query* sui nuovi oggetti spaziali così ottenuti utilizzando sia interrogazioni spaziali, sia interrogazioni sugli attributi. Attraverso l'analisi spaziale, partendo dalle informazioni esistenti nel database geografico, è possibile quindi creare nuovi livelli informativi associando i dati in maniera da evidenziare relazioni altrimenti non chiaramente visibili. Dal punto di vista analitico *l'overlay*, collega tra loro informazioni servendosi di considerazioni geometriche e quantitative. Le sovrapposizioni prevedono che almeno uno dei due

tematismi considerati sia di tipo areale; esse possono essere di tre tipi: punti su poligoni, linee su poligoni e poligoni su poligoni.

3.1.2 Architettura di ArcGIS

Il sistema GIS utilizzato per questo lavoro è una raccolta integrata di prodotti per la creazione di un sistema informativo geografico (ArcGIS 9.0/SQL Server). La struttura di ArcGIS è tale da consentire una assegnazione delle funzionalità GIS oltre che ai *desktop*, anche da applicazioni *server*, in modo da attribuire le capacità di analisi geografica ad un numero illimitato di utenti sulla rete. L'architettura ArcGIS fornisce una soluzione scalabile per costruire e distribuire diverse tipologie di applicazioni GIS all'interno di tutte le più comuni architetture di computer, da sistemi "*stand-alone*" a sistemi a livello "*enterprise*".

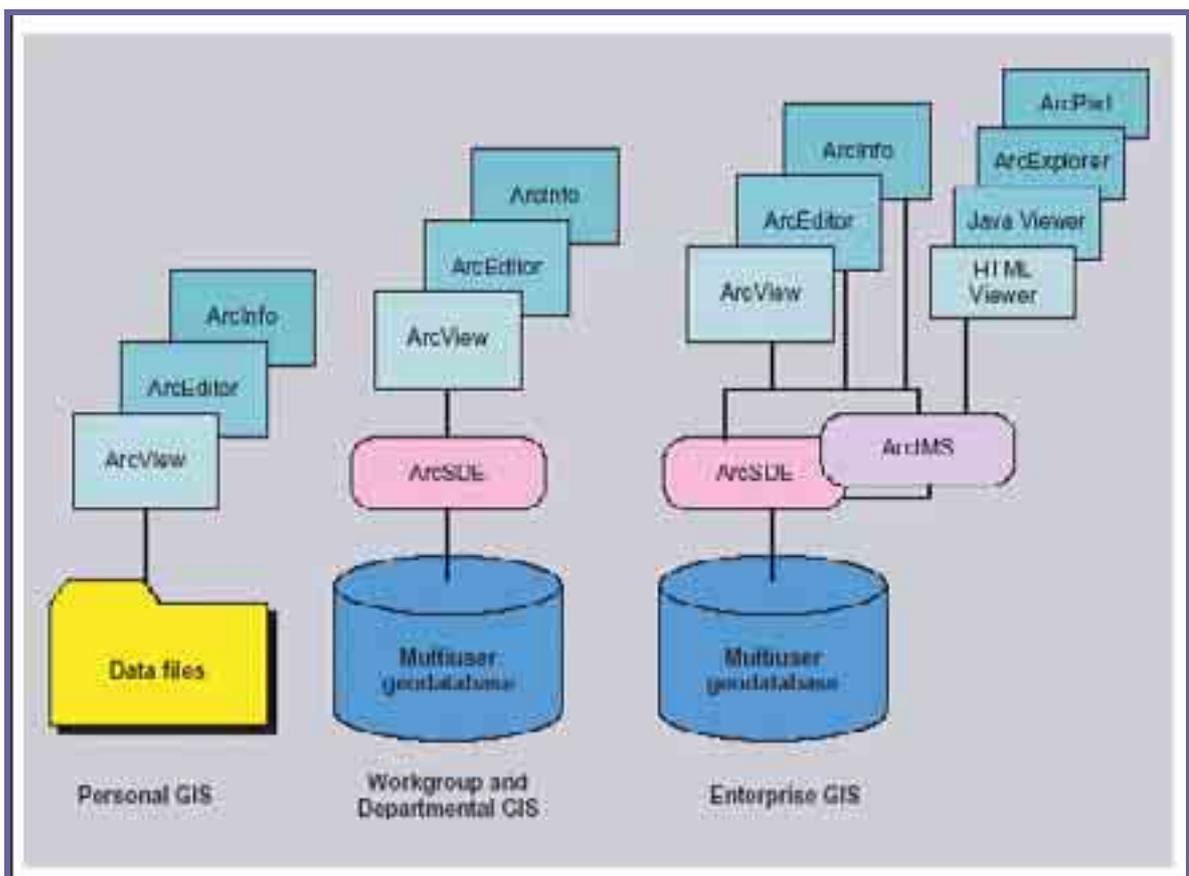


Figura 3.1.2.1: Architetture di ArcGIS in relazione alla tipologia di utente (tratta da Gerbino, 2003).

ArcGIS si compone di un insieme di prodotti GIS *client (desktop)* e GIS *Application Server*; si basa su una libreria condivisa di componenti *software* GIS modulari chiamata ArcObjects, i quali sono costituiti da una grande varietà di componenti programmabili che offrono la pienezza delle funzionalità GIS agli sviluppatori di applicazioni. Essi spaziano dagli oggetti di controllo più dettagliato, ad esempio quelli che permettono il controllo di una singola geometria, a quelli che permettono di interagire con "viste" già realizzate in ArcMap.

Ogni tipologia dei prodotti ArcGIS basata sugli ArcObjects rappresenta un "contenitore" per l'ideazione di soluzioni applicative alternative per gli sviluppatori GIS, che includono soluzioni Desktop GIS (ArcGIS Desktop), GIS "embedded" (ArcGIS Engine) e Server GIS (ArcGIS Server). ArcGIS è costituito da una serie di *framework* preposti a rendere operativo il GIS (fig. 3.1.2.3):

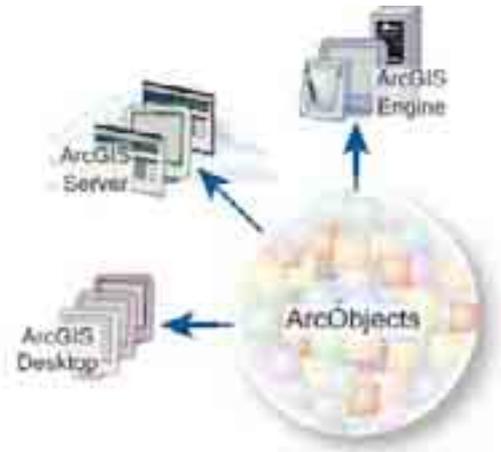


Figura 3.1.2.2: Componenti *software* di ArcGIS (tratto dal sito www.GISItalia.it).

- ArcGIS Desktop - una suite integrata di applicazioni GIS;
- ArcGIS Engine - componenti *software* per sviluppatori, da includere all'interno di applicazioni GIS personalizzate;
- Server GIS - ArcSDE, ArcIMS e ArcGIS Server
- Mobile GIS - ArcPad, ArcGIS Desktop e Engine per i Tablet PC.

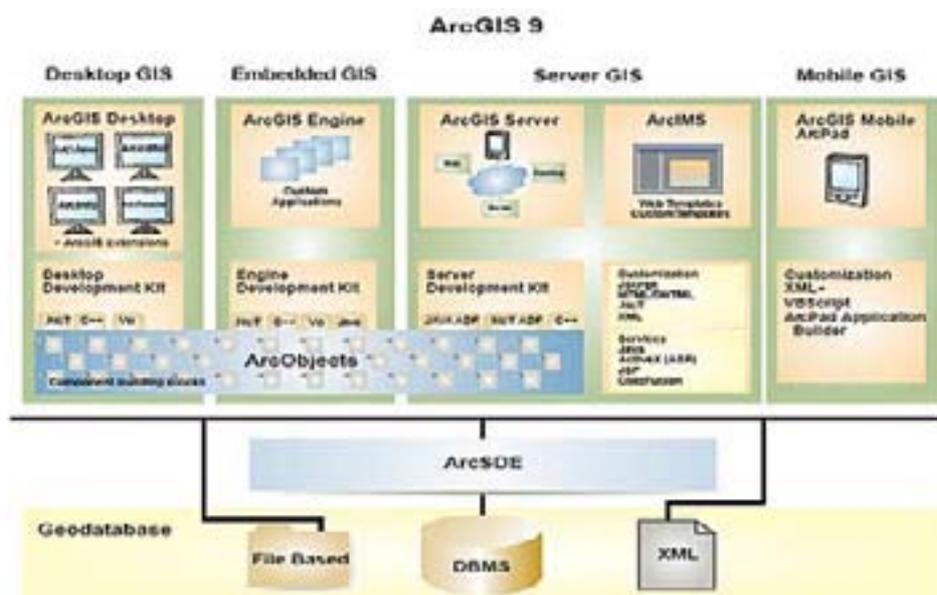


Figura 3.1.2.3: Architettura di ArcGIS 9 (tratta dal sito www.GISItalia.it).

ArcGIS Desktop è il contesto primario che consente di compilare ed usare l'informazione geografica; è uno strumento di produttività per creare, condividere, gestire e pubblicare l'informazione geografica. In pratica è una suite integrata di applicazioni GIS avanzate che comprende una serie di applicazioni per *desktop* di tipo Windows quali ArcMap, ArcCatalog e ArcToolbox, dotate di un'interfaccia utente potente ed intuitiva. Utilizzando tali applicazioni è possibile svolgere operazioni quali l'analisi geografica, la gestione, l'*editing*, l'elaborazione di dati territoriali nonché la produzione cartografica. Questi applicativi *desktop* possono essere utilizzati anche in contemporanea.

ArcMap è un valido strumento impiegabile nella maggior parte dei processi di *editing* e *mapping*. È dotato di un'interfaccia avanzata con un'ampia scelta di strumenti orientati al CAD e alla generazione di mappe di alta qualità. La visualizzazione dei dati in ArcMap è consentita da due differenti strumenti: il Data View ed il Layout View.

In Data View, gli utenti interagiscono con la mappa senza preoccuparsi delle informazioni riguardanti la pagina grafica, come posizione del nord o altro. Layout View è invece una pagina virtuale all'interno della quale sono presenti gli elementi cartografici e mostra tutti i dati all'interno del *data frame*. La maggior parte delle operazioni che si possono effettuare sui dati del Data View, possono essere effettuate anche nel Layout View.

ArcCatalog è un'applicazione per l'amministrazione dei dati, che utilizza due principali componenti di visualizzazione: lista delle cartelle (*folder*) disponibili e modalità di visualizzazione dei dati. I *folder* che contengono dati GIS, sono rappresentati da cartelle speciali, le differenti tipologie di *data set*, quali coperture, *shapefile*, *file raster* e *geodatabase*, sono identificate con icone diverse. Le modalità di visualizzazione delle voci selezionate (*item*) possono essere di tre differenti tipi: *Contents*, *Preview*, *Metadata*. Selezionando *Contents* vengono visualizzate le *features data set* del *workspace* o del *geodatabase* selezionato, le *features class* di una copertura, gli *shapefile*, le tabelle alfanumeriche. Selezionando *Metadata* l'utente può creare, gestire e visualizzare documentazione del dato selezionato (*metadata*) attraverso XML (*Extended Markup Language*), con *Preview* è possibile visualizzare e identificare i dati selezionati utilizzando anche strumenti di *pan* e *zoom*. L'interfaccia grafica e le funzionalità di ArcCatalog possono essere adattate alle proprie esigenze, e può quindi essere inserito come una componente all'interno di un'applicazione personalizzata.

ArcToolbox contiene più di 140 strumenti di *geoprocessing* presenti sotto forma di

wizard e menù. E' un'interfaccia che permette ad ArcInfo Desktop di "dialogare" con ArcInfo Workstation, ed è realizzata in ambiente ODE (*Open Development Environment*). Nonostante alla maggior parte di queste funzioni si possa accedere direttamente dalla linea di comandi di ARC, ArcToolbox è organizzato in quattro principali categorie di comandi: Data Management Tools, Analysis Tools, Conversion Tools e My Tools. ArcToolbox quindi snellisce e semplifica molti tra i più complessi compiti di *geoprocessing*. Tra le altre caratteristiche di ArcToolbox, vi è inoltre la possibilità di eseguire processi in *batch* (gruppo), e di aggiungere nuovi strumenti personalizzati.

ArcGIS Desktop è disponibile in tre livelli funzionali - ArcView, ArcEditor e ArcInfo - e può essere personalizzato ed esteso.

ArcView permette di visualizzare, interrogare e analizzare dati; inoltre possiede funzionalità che permettono di creare ed eseguire *editing* sui dati geografici. È dotato di un catalogo per navigare e gestire dati, cambi di proiezioni, creazione di *metadata*, personalizzazioni con *Visual basic for Application* (VBA), innovativi strumenti di *editing*, supporto per annotazioni statiche, avanzati strumenti cartografici. ArcView è un GIS *Stand-alone* come via di accesso ad ArcGIS.

ArcEditor include tutte le funzionalità di ArcView ed aggiunge la possibilità di eseguire *editing* su *geodatabase* multi-utente o su coperture. Ulteriori funzionalità includono il supporto per *editing* multiutente, *versioning*, *feature class* personalizzate, annotazioni con *link*, *dimensioning* e *rasters* in un *geodatabase* multiutente. Esso permette di creare ed eseguire *editing* su tutti i tipi di dati vettoriali supportati da ESRI, compresi *shapefiles*, coperture, *personal geodatabase* e *geodatabase* multiutente.

ArcInfo include, oltre alle funzionalità di ArcView e ArcEditor, anche potenti *tool* (strumenti) per l'analisi e la conversione dei dati GIS. Esso comprende due ambienti applicativi: ArcInfo Desktop e ArcInfo Workstation e permette di creare, aggiornare, visualizzare, interrogare ed analizzare dati GIS. ArcInfo Desktop contiene tutte le funzionalità di ArcEditor e aggiunge un completo set di *tool* per la gestione, l'analisi e la conversione dei dati. I *tools* di analisi sono contenuti nell'applicazione ArcToolBox e consentono di convertire i dati, di eseguire operazioni di aggregazione o generalizzazione, permettono inoltre di sovrapporre *layer*, creare delle zone di rispetto intorno a particolari località geografiche, calcolare statistiche e molte altre funzionalità. Ogni *tool* prevede una serie di *wizard* che guidano l'utente nella realizzazione della funzione specifica. ArcInfo Workstation è costituito dalle classiche interfacce Arc, ArcEdit, ArcPlot, Arc Macro

Language e fornisce potentissime funzionalità di analisi e *geoprocessing*. L'ambiente di sviluppo ArcInfo permette di integrare anche applicazioni esistenti.

Un *geodatabase*, termine abbreviato per indicare il *database* geografico, è il nucleo di un modello di dati costruito per gestire l'informazione geografica, per organizzare i dati GIS in *layer* tematici e rappresentazioni cartografiche pronte all'uso.

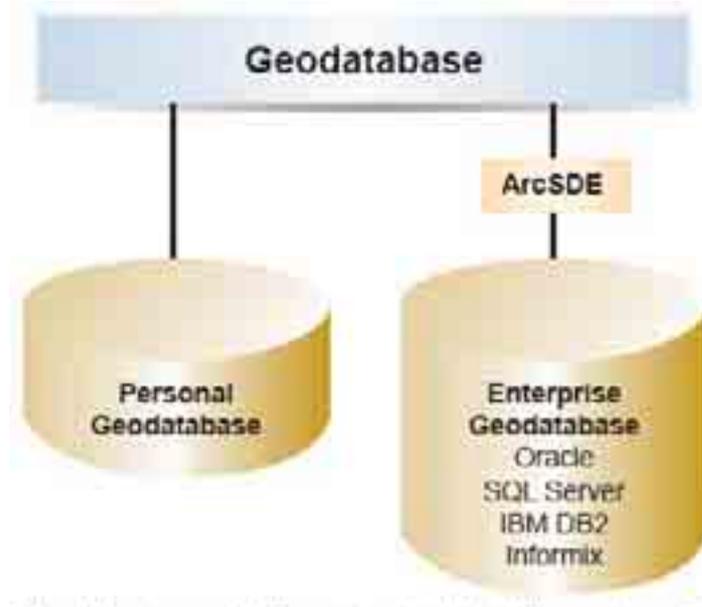


Figura 3.2.1.4: Geometria del *geodatabase* (tratto dal sito www.GISItalia.it)

DBMS standard; si può implementare sia in ambienti DMBS, sia di tipo *personal*, che multiutente e in XML. Esso è stato progettato come un modello di gestione aperto, con gestione di geometrie semplici. E' in grado di "importare" differenti sorgenti di dati, tra cui i file DBMS e le implementazioni XML.

ArcGIS Engine è un GIS di tipo "*embedded*" e può essere usato per aggiungere funzionalità di visualizzazione e analisi geografica, tramite librerie di oggetti GIS, all'interno di applicazioni non "GIS-centriche". Questo strumento consente l'accesso alle funzionalità GIS attraverso semplici interfacce, per tutti coloro che hanno la necessità di aumentare la capacità elaborativa delle proprie applicazioni con analisi e rappresentazioni geografiche. Per esempio applicazioni di questo tipo aiutano il lavoro di raccolta di dati in postazioni remote, l'accesso al GIS per i *manager*, le interfacce personalizzate per gli operatori, e allo stesso tempo le attività specifiche di compilazione dei dati. ArcGIS Engine fornisce una serie di componenti di ArcGIS da utilizzare in ambienti di sviluppo standard che possono operare al di fuori dei contesti offerti dalle applicazioni di ArcGIS Desktop (ad esempio gli oggetti di una mappa vengono gestiti come parte di ArcGIS Engine,

piuttosto che in ArcMap). Usando ArcGIS Engine gli sviluppatori costruiscono potenti linguaggi GIS dotati di semplici interfacce utente, per accedere a ogni sorta di funzioni GIS, usando C++, COM, .NET e Java. Con ArcGIS Engine gli sviluppatori possono costruire applicazioni completamente personalizzate o inserire la "logica GIS" all'interno di applicazioni esistenti, quali Microsoft Word o Excel. Questo consente di allargare la gamma delle applicazioni GIS personalizzate ed anche di rivolgersi ad una utenza molto più ampia.

Server GIS centralizzati servono per pubblicare e condividere l'informazione geografica sia all'interno delle aziende che con molti altri utenti su internet. Il software GIS per componenti *server* è usato per la realizzazione di sistemi centralizzati per la consultazione e l'analisi dei dati geografici; l'evoluzione di tali sistemi prevede che siano presto disponibili anche le funzionalità di gestione e di *geoprocessing*. Oltre a servire mappe e dati, un *server GIS* può mettere a disposizione, tramite un *server* centrale condiviso, tutte le funzionalità di analisi geografica quali: produzione di cartografia, analisi spaziale, interrogazioni spaziali complesse, compilazione avanzata di dati, gestione distribuita degli stessi, *geoprocessing* in *batch*, verifica delle regole dell'integrità geometrica, e così via. I *server GIS* sono compatibili con tutte le tecnologie informatiche e lavorano estremamente bene con gli altri software di tipo *enterprise*, come i *web server*, i DBMS e i *framework* aziendali che integrano le tecnologie .NET e J2EE. In questo modo è possibile integrare i GIS con numerosi altri sistemi tecnologici.

ArcSDE è il *data Server* per la gestione dei dati geografici in ambiente multiutente memorizzati in un *database* relazionale (DBMS). Permettendo la visualizzazione, l'*editing* multiutente e la condivisione dei dati residenti su *geodatabase*; esso svolge un ruolo fondamentale nei sistemi GIS. In un'architettura di tipo *enterprise* basata sul sistema ArcGIS, ArcView funge da *client* per la visualizzazione e l'analisi dei dati geografici. ArcEditor utilizzando le funzionalità di ArcSDE completa il sistema mettendo a disposizione gli strumenti per la creazione, per la manutenzione e la progettazione della banca dati in ambiente multiutente. ArcSDE stabilisce un collegamento diretto tra i *client* e le informazioni geografiche memorizzate nel DBMS. I database relazionali supportati da ArcSDE sono:

- ORACLE;
- SQLServer;
- DB2;

- Informix.

Tra le principali funzionalità di ArcSDE troviamo:

- struttura per gestire l'*editing* di più utenti sullo stesso DB cartografico tramite "transazioni lunghe", versioni, storico;
- supporto *software* per creare non solo semplici dati geometrici, ma anche per gestire tipi di dati GIS sofisticati come immagini, "*network*", oggetti spaziali topologici; possibilità di associare a tali tipi di dati "regole", comportamento e proprietà;
- memorizzazione del dato GIS direttamente nel formato "tipo spaziale" nativo del DBMS;
- integrazione delle funzioni di ricerca spaziali (geometriche) fornite dal produttore del DBMS all'interno dell'applicazioni *client* ArcGIS;
- accesso a notevoli quantità di dati Geografici ed alfanumerici con gestione del "continuo" cartografico (*no tiles*);
- ottime *performance* in visualizzazione, interrogazione ed analisi di dati Geografici ed alfanumerici;
- utilizzo delle potenzialità del *database* relazionale (DBMS) per la gestione di decine o centinaia di utenti sul *server* di dati Geografici;
- disponibilità di tutte le principali funzionalità di analisi spaziale di un GIS (*Buffer*, *Overlay*, *Intersect*, ecc.), *spatial query* (Contenuto, Contenente, Confinante, Disgiunto ecc.) ed *editing* (*Dissolve*, *Clip*, *Cleaning*, ecc.); ArcSDE permette di usufruire delle funzionalità di *Versioning e Long Transaction*, cioè, accesso contemporaneo in *editing* da parte di più utenti, con la creazione di versioni "storiche" del dato (chiaramente senza duplicazione del dato stesso).

ArcSDE infine gestisce anche dati *raster* o ESRI *grid* ottimizzandone le prestazioni mediante la gestione di piramidi multilivello. La tecnologia ArcSDE ha uniformato le strutture per la memorizzazione di dati spaziali all'interno di un RDBMS, relazionando le informazioni geometriche con quelle alfanumeriche. Il *server* di dati geografici ArcSDE è costituito da una serie di librerie *client* e *server* che interagiscono per l'espletamento immediato delle operazioni garantendo ottime prestazioni con notevoli quantità di dati. Dispone inoltre di un *tool* di comandi di amministrazione che permettono ad un DBA (DataBase Administrator) di gestire e configurare al meglio il *database* geografico e alfanumerico. ArcSDE utilizza al meglio le potenzialità del RDBMS su cui è installato, non entrando nel merito delle funzioni di tradizionale gestione di banche dati alfanumeriche (GRANT, USER, LOCK, CONSISTENZA, ECC.), che restano proprie dell'RDBMS.

Relazionando i dati alfanumerici con dati "spaziali" memorizzati nel *database*, ArcSDE garantisce le funzionalità GIS quali: lettura, scrittura e conversione di coordinate, *query* Spaziali, *editing* ecc. ArcSDE è organizzato secondo un'architettura di tipo *Client/Server*, con possibilità di connessione dei nodi remoti sia mediante rete locale, sia attraverso rete geografica.

ArcIMS rappresenta la nuova generazione dei prodotti ESRI per la pubblicazione di dati GIS su Web che introduce i concetti del GIS distribuito; permette agli utenti di condividere le loro applicazioni e/o i dati GIS attraverso Internet o Intranet. Esso consente di accedere a dati resi disponibili da *server* remoti e integrarli con dati disponibili su risorse locali. La possibilità di integrare i dati pubblicati in Internet con i dati locali, apre una nuova strada di analisi collettiva dei dati GIS su di un'architettura distribuita. ArcIMS fornirà nuove opportunità per condividere, accedere e utilizzare i dati aumentando notevolmente la disponibilità e l'accesso alle informazioni spaziali nelle banche dati geografiche all'interno di un'organizzazione/ente. I formati di dati supportati sono diversi: *shapefile* e *layers* ArcSDE come dati vettoriali e diversi formati di dati *raster* (JPEG, TIF, GIF, BMP, MrSID ecc.). Le principali funzionalità offerte da ArcIMS sono molteplici.

L'*Image rendering* permette di rendere disponibili le informazioni geografiche attraverso delle immagini in formato JPEG, PNG, o GIF in modo del tutto analogo a quanto reso possibile sia con ArcView IMS sia con MapObjects IMS. Ogni richiesta del *client* si traduce in un'attività del *server* che aggiorna la mappa restituendola sotto forma di immagine.

Il *Feature streaming* consente il trasferimento diretto "*data streaming*" del dato vettoriale da lato *server* verso *client* (*Web browser*). Questa possibilità realizza l'integrazione dei dati locali con i dati pubblicati in Internet, e fornisce accesso a una vasta gamma di funzionalità GIS attraverso il semplice *Web browser*.

La *Querying data* rende possibile l'interrogazione dei dati attraverso *query* predefinite o costruzione di nuove *query* utilizzando un apposito *query-builder*.

Il *Data extraction* permette l'estrazione di porzioni di dati geometrici dal *server*, rese disponibili all'utente il formato *shapefile* contenuto in un apposito file compresso (.zip).

L'*Address matching* fornisce la possibilità di georiferire una locazione sul territorio a partire dal suo indirizzo.

Le componenti *client* e *server* di ArcIMS comunicano utilizzando ArcXML, un estensione di XML (*Extensible Markup Language*). ArcXML può esser impiegato per le personalizzazioni di ArcIMS in quanto permette di agire sui *map configuration file*, sulle richieste dei *client* e sulle risposte del *server*.

ArcIMS è in realtà costituito da 3 applicazioni: ArcIMS Author, ArcIMS Designer e ArcIMS Administrator. Un'applicazione web denominata ArcIMS Manager combina all'interno di un *framework* guidato da *wizard* le funzionalità di queste tre applicazioni. Utilizzando ArcIMS Manager è possibile amministrare *server* ArcIMS anche da postazioni remote. ArcIMS Author permette di definire il contenuto della mappa (quali livelli informativi sono presenti, la loro rappresentazione, i limiti di scala che ne regolano la visibilità, ecc.). ArcIMS Designer permette di definire un intero *web site*, vale a dire un'intera applicazione *web* utilizzabile dall'utente finale. Tale applicazione potrà essere basata su di un'interfaccia HTML/Javascript oppure su un *viewer* Java (*standard* o *custom*). ArcIMS Administrator permette di gestire un *server* ArcIMS attivando/disattivando MapServices, Virtual Server, ecc.

GIS per sistemi mobili - ArcPAD è la soluzione ArcGIS per il campo e il GIS mobile. Questi compiti sono svolti da computer palmari o Tablet-PC, dotati di Microsoft Windows o Pocket PC. ArcGIS Desktop e ArcGIS Engine sono stati progettati per supportare anche lavori sul campo che richiedono l'analisi GIS e la capacità decisionale. Questi obiettivi prevedono l'utilizzo di Tablet-PC.

ArcPAD rappresenta la soluzione tecnologia proposta da ESRI per *mobile mapping* e GIS. ArcPAD può utilizzare dati vettoriali (*shapefile*), dati raster (JPEG, MrSID, Windows bitmap, e CADRG raster), e dati forniti via ArcIMS o *Geography Network* (in questi casi ArcPad svolge il ruolo di *client* di ArcIMS e i dati vengono forniti via TCP/IP).

ArcPad offre le seguenti categorie di funzionalità:

- navigazione sulla mappa (*zoom*, *pan*, ecc ...);
- interrogazione dei dati (*identify* e *find*);
- misure;
- integrazione con l'uso di un GPS;
- *editing* dati geografici;
- integrazione con gli strumenti ArcGIS Desktop.

E' possibile usare ArcGIS per preparare dati e mappe da utilizzare in ArcPad.

(Tratto dal sito www.GISItalia.it e da Gerbino, 2003).

La struttura della banca dati del Servizio Geologico Nazionale (oggi confluito nell'APAT) prevede un'architettura basata sul modello dati del *Geodatabase* su SQL Server *Enterprise* tramite ArcSDE.

Questo tipo di struttura permette la gestione centralizzata dei dati (sia *raster* che vettoriali che tabellari) in un unico ambiente, con ovvi vantaggi sulla facilità di gestione della banca dati (aggiornamento, *backup*, gestione utenti ecc.).

Il motore geografico su cui poggia l'intero sistema cartografico, è fortemente rappresentato dal *software* ArcIMS 4.0 e dal gestore del Geodatabase ArcSDE. La piattaforma è costituita principalmente da due *workstation*. Su una viene installato ArcIMS e tutti i *software* ad esso propedeutici, sull'altra ArcSDE e SQL Server. (Tratto dall'*help on line* del *geodatabase geoweb/CARG*).



Figura 3.1.2.5: Struttura della banca dati dell'APAT tratta dall'*help on line* del *geodatabase geoweb/CARG*).

3.2 la legenda litologica

La legenda utilizzata per la realizzazione della carta litologica d'Italia è ad oggi ancora un prototipo mutevole in via di miglioramento. L'assenza di specifiche linee guida

espone questo tipo di lavoro all'insorgenza di dubbi e osservazioni critiche. Partendo dall'assunzione che lo stesso concetto di carta litologica non è univoco, ma espressione individuale dettata dalle necessità specifiche proprie di ogni caso particolare, in questa sede si è cercato di ottimizzare le innumerevoli legende esistenti nella letteratura mondiale in funzione dell'esigenza di fornire ai tecnici una base, di portata nazionale, che permetta di estrapolare il maggior numero di tematismi possibile.

Lo studio del modello ottimale di legenda litologica unitaria è stato impostato sulla formulazione di ipotesi classificative, basate sul contenuto informativo della cartografia di partenza (CGI 1:100.000) e volte ad individuare i prodotti di carattere geologico-applicativo derivabili da questa e le loro possibili applicazioni.

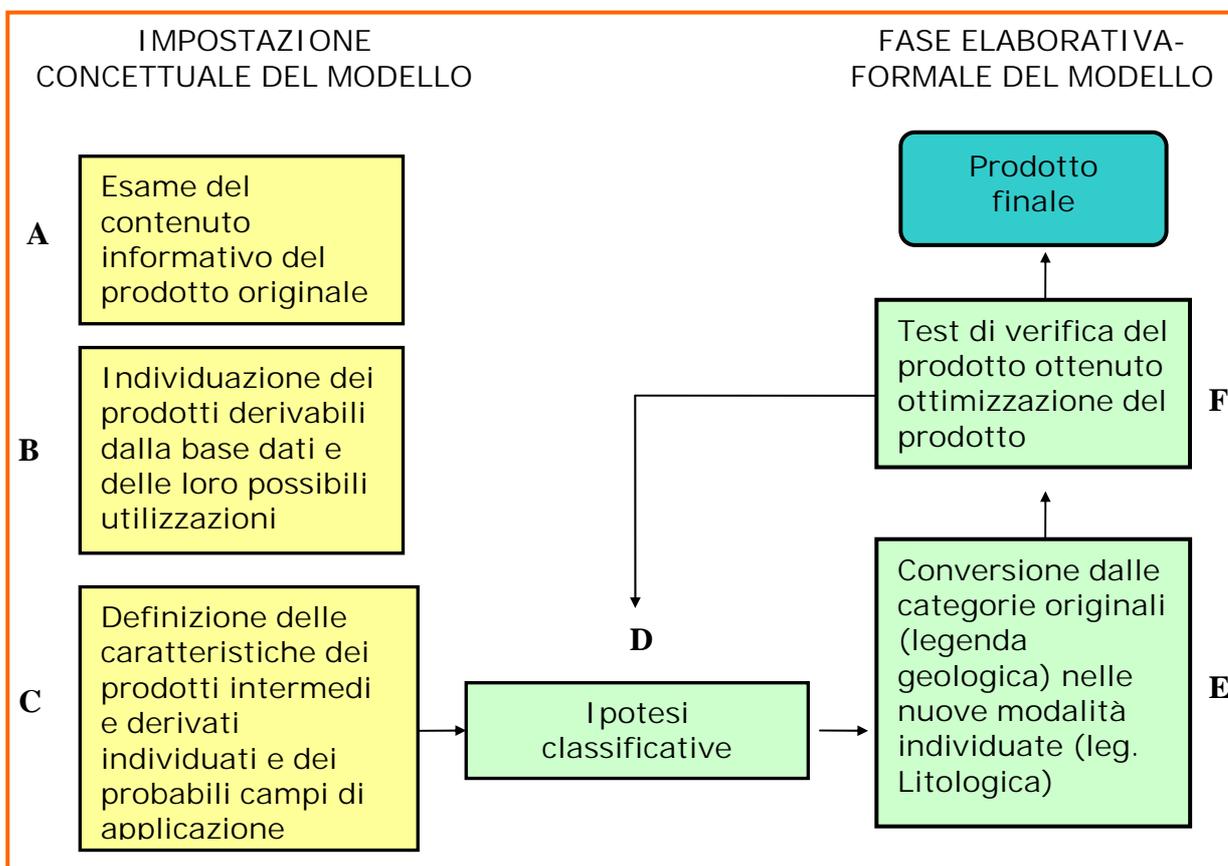


Tabella 3.2.1: Lo schema a blocchi sintetizza l'iter procedurale per la realizzazione della legenda litologica unitaria (tratto da Conte, 2005).

A partire da una base classificativa formalmente accettabile, si è intrapreso un percorso graduale di ottimizzazione tenendo conto dei limiti imposti dalla forma e dai contenuti della fonte originaria (tab. 3.2.1).

Il prototipo di legenda, così ottenuto, è costituito da 6 distinti livelli, ognuno dei quali preposto a classificare una diversa caratteristica delle unità formazionali. Questo tipo

di architettura consente di raccogliere e sistematizzare il maggior numero di dati, ricavabili dalla fonte originale, in un *data base* strutturato in modo da permettere ricerche su vasti ambiti territoriali e lo sviluppo di specifici tematismi per una restituzione cartografica di buona qualità tramite opportune elaborazioni (tab. 3.2.2) (Conte, 2005).

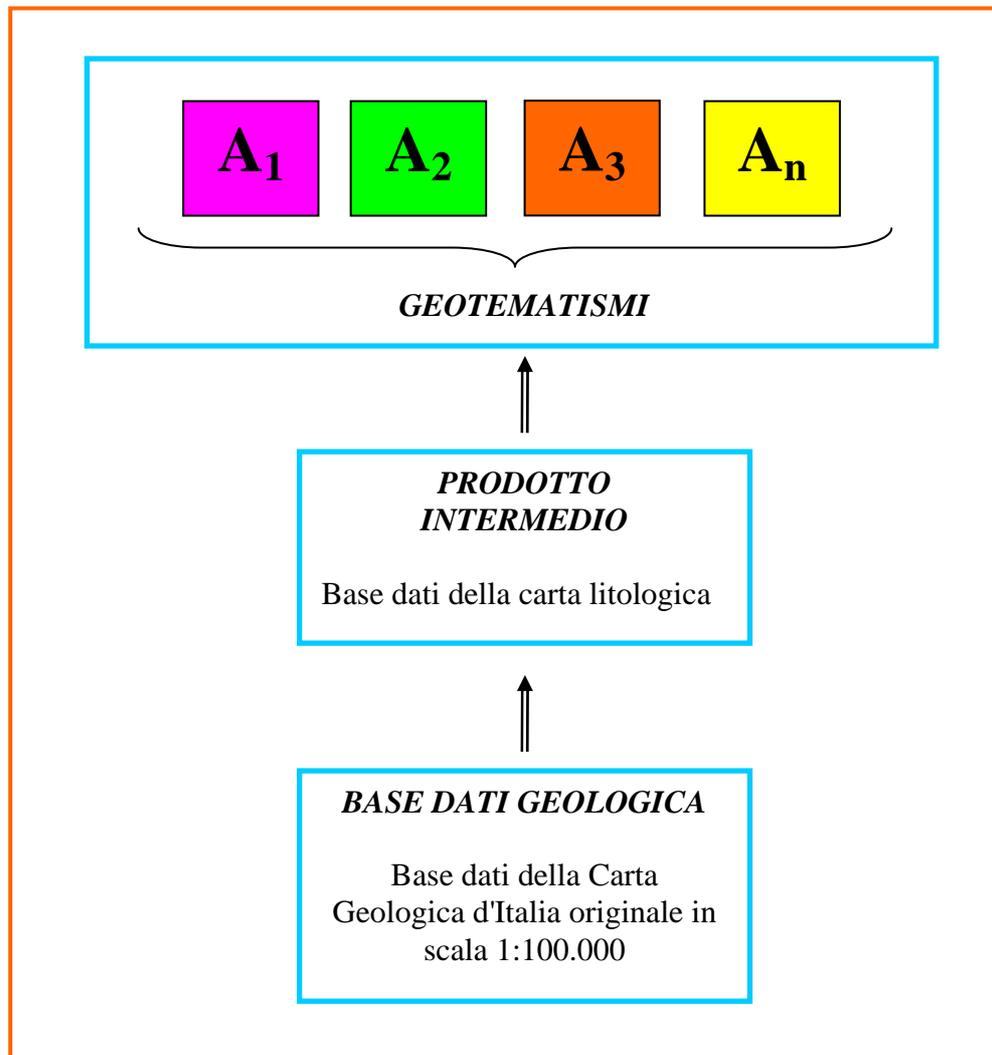


Tabella 3.2.2: Diagramma di flusso semplificato delle fasi realizzative (tratto da Conte, 2005)

Il primo livello consente una classificazione delle unità per litotipi, di seguito riportata. I termini utilizzati, dettati da esigenze pratiche di lavoro, sono assolutamente provvisori, dunque nella versione definitiva verranno sicuramente modificati in modo opportuno.

Nome	1 - LITOTIPI		
calcani	calcolitici, calcareniti calciruditi, calcani dolomitici, calcani selciferi,		1
dolomie	dolomie, dolomite calcaree		2
calcani marnosi	calcani marnosi, marni calcaree, alternanze calcari-marni, calcari argille, dolomie-marni, dolomie-argille		3
diaspri	radiolanti e diaspri		4
quarzareniti	quarzareniti, quarzoliti, quarzruditi (prevalenza di cemento siliceo)		5
diatomiti	diatomiti diatomitici (tripoli)		6
marni	marni, argilliti, siltiti		7
conglomerati	conglomerati, breccie, puddinghe		8
arenarie	arenarie + conglomerati, arenarie + sabbie		9
complessi pellico-arenacei	complesso pellico-arenaceo, pellico-arenaceo, conglomeratico, marnoso-arenaceo		10
complessi calcareo-arenacei	complesso calcareo (dolomitico) - arenaceo, calcareo (dolomitico)-marnoso-arenaceo		11
evaporiti	sedimenti evaporitici		12
rocce residuali	sedimenti residuali (bauxiti, lateriti)		13
detriti cementati	sedimenti grossolani recenti-attuali cementati, detriti e falda di detrito cementati		14
traverline	traverline		15
terreni prevalentemente argillosi	terreni a granulometria fine (f)		1
terreni prevalentemente sabbiosi	terreni a granulometria media (m)		2
terreni prevalentemente ghiaiosi	terreni a granulometria grossolana (g), media-grossolana (mg)		3
terreni a granulometria mista	terreni a granulometria mista (fm+g)		4
terreni torbosi, lignitiferi	terreni torbosi, lignitiferi		5
terreni residuali	terreni residuali		6
terreni a granulometria indefinita	terreni granoproporzionati indefiniti (gs+si, fs+si)		7
argille caotiche	complesso indifferenziato, argille caotiche, argille varicolori, argille scagliose ecc.		1
complessi vulcano-sedimentari marini	Tufi		2
lave acide	quarzoandesi, daciti, riolaciti, nolti (lipanti), trachidaciti		1
prodotti intermedi	trachite, andesi, trachiandesiti, latiti, trachiandesiti basaltiche, andesi basaltiche,		2
lave basiche	basalti, trachibasalti, picrobasalti, picrite, tefri, basaniti, fonotefri, tefritofoliti, fonoliti, fonoliti fonolitiche, foiditi fonolitici, foiditi (leucitici),		3
lave a chimismo non noto	lave a chimismo non noto		4
piroclastici, tufi, ignimbriti	piroclastici, tufi, ignimbriti		5
piroclastici+lave	piroclastici+lave		6
rocce granitoidi	quarzoliti, graniti, granito a feldspati alcalini tonaliti, granodioni		1
plutoniti intermedia	monzoni, sieniti a feldspati alcalini, sieniti, dioriti, anortositi, monzodiorite, monzogabbro, diorite, gabbro, anortosite		2
plutoniti foidiche	sienite a feldspati, monzonite a feldspati, essexite, theralite, foidite, ultramafiche, pirosseni, peridotiti, dumo		3
filladi e micascisti	filladi, anfiboliti, argilloscisti, micascisti, parascisti, quarziti scistose, calcescisti, talcoascisti		1
gneiss	gneiss		2
prasiniti	prasiniti		3
ofoliti	ofoliti		4
serpentinis	serpentinis		5
comubianiti	hornfels (comubianiti) calcarei skiam		1
marmi	marmo		2
dolomie metamorfiche	dolomia metamorfica		3
quarzi	quarzi		4
granuliti	granuliti, eclogiti		5
metamorfiti di basso grado	meta-sedimentarie, meta-magmatiche (metamorfiti di basso grado) miloniti		1
acque e ghiacciai	corsi d'acqua, acquedotti, laghi, ghiacciai, ecc.		1
insediamenti antropici	insediamenti antropici		2
discariche	discariche		3

Ogni litotipo è univocamente identificato con un codice che si compone di una lettera e di un numero. Le lettere raggruppano le formazioni nel seguente modo: A - rocce sedimentarie; B – terreni; C – complessi; D – rocce ignee effusive; E – rocce ignee intrusive; F – rocce metamorfiche di alto grado; G – rocce metamorfiche di grado intermedio; H – metamorfiti di basso grado; N – idrografia e antropizzazione. I numeri individuano dei sottoinsiemi all'interno dei campi descritti dalle lettere.

In questo modo le circa 5.300 voci di legenda riconosciute nei 277 fogli della Carta Geologica d'Italia vengono ridotte a 47, con una media di unità per foglio che scende da 39 a 15 (Conte, 2005).

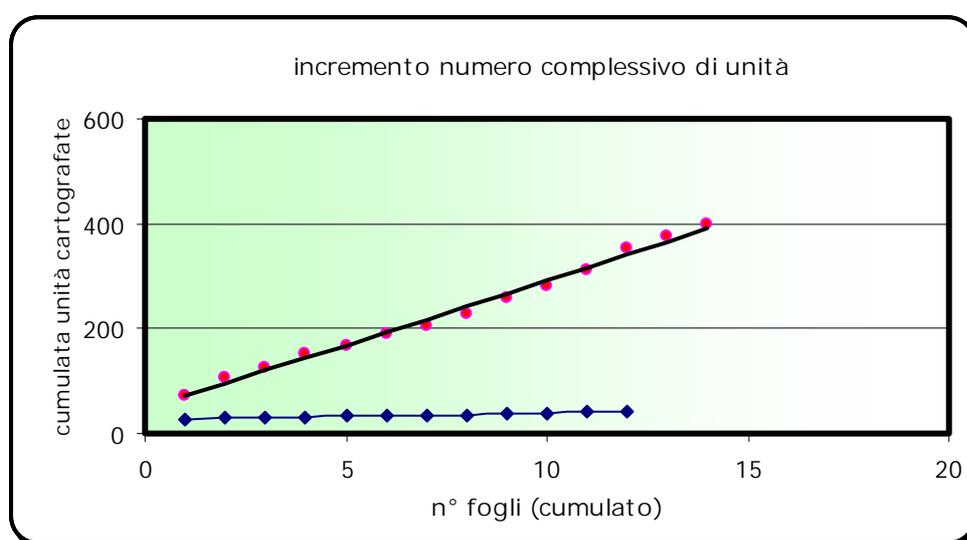


Tabella 3.2.3: Incremento del numero complessivo di unità. La simbologia rossa indica il numero di unità della carta geologica; in blu è invece riportato il numero di unità della carta litologica; la linea nera rappresenta la regressione lineare. Statistica effettuata su 12 fogli geologici ritenuti significativi per varietà di litologie e differente epoca di realizzazione (tratto da Conte, 2005).

A fronte dell'enorme vantaggio di avere una legenda unica per tutti i fogli che coprono il territorio nazionale, il rovescio della medaglia è una inevitabile perdita di informazioni che si è cercato di arginare mediante le classificazioni secondarie. Queste hanno lo scopo di recuperare le notizie indirette deducibili dalla fonte originale, che possono rivelarsi molto utili anche a fini applicativi. Ad esempio conoscere l'ambiente di formazione delle argille può aiutare a precisare alcuni aspetti idrogeologici e geotecnici. Le informazioni sono classificate nei seguenti gruppi tematici: genesi delle rocce; consistenza dei terreni; processi deposizionali che hanno portato alla formazione dei depositi sedimentari recenti e ambienti deposizionali delle formazioni marine; struttura in grande e di dettaglio degli ammassi rocciosi.

2 - caratterizzazione genetica generale	
ROCCE MAGMATICHE EFFUSIVE	2EF
ROCCE SEDIMENTARIE	2SD
ROCCE MISTE (E+S)	2XX
ROCCE MAGMATICHE INTRUSIVE	2IN
ROCCE METAMORFICHE	2ME
COPERTURE CONTINENTALI RECENTI	2FC
3 - consistenza dell'ammasso roccioso	
litoide	3L
incoerente	3I
coesiva	3C
incoerente + coesiva (es. alternanze sabbie-argille)	3D
litoide-incoerente (es. arenarie deb. cementate o variamente cementate)	3N
litoide + incoerente + coesiva	3M
altre categorie	3A
indefinita	3O
4P - depositi continentali: processo deposizionale	
alluvionale, torrentizio, fluviolacustre	4P1
glaciale, fluvioglaciale	4P2
lacustre	4P3
colluviale	4P4
eluviale	4P5
eluvio-colluviale	4P6
gravitativo	4P7
conoide	4P8
antropico	4P9
4A - depositi marini: ambiente deposizionale	
neritico	4A1
scarpata	4A2
piattaforma pelagica	4A3
pelagico emipelagico	4A4
laguna-transizione	4A5
evaporitico	4A6
altre categorie	4A7
indefinito	4A8
5 - struttura dell'ammasso roccioso	
massiva, compatta, banchi	5A
stratificata	5B
scistosa	5C
filoniana, condotto lavico	5D
caotica	5E
mista (banchi e strati)	5F
fissile	5G
indefinita	5O
6 - struttura di dettaglio	
vacuolare	6A
fratturata-fessurata	6B
a cuscini	6C
nodulare	6D
altre categorie	6E
caotica	6F
fogliettata	6G
laminata	6H
gradata	6L
indefinita	6O

Il potenziale informativo della legenda litologica, non ancora ben definito, viene tuttavia ridotto da due incongruenze sistematiche di fondo: una legata all'incoerenza insita nell'impossibilità di definire un criterio classificativo omogeneo per tutte le classi di roccia; l'altra ereditata dalla cartografia di base prodotta da numerosi rilevatori in epoche e con tecniche diverse.

Ciò nonostante, la carta litologica può rivelarsi molto utile in svariati ambiti applicativi, come la pianificazione e gestione del territorio, le comparazioni nazionali, o la definizione dello stato di qualità dell'ambiente. I suoi molteplici indirizzi applicativi possono investire i campi più disparati: piani urbanistici; zonazione sismica; revisione degli impatti sull'ambiente (es. studi di impatto ambientale, vulnerabilità acque sotterranee ecc.); studi afferenti al ciclo delle acque (es. bilanci di massa ecc.); analisi territoriale delle risorse di interesse estrattivo (es. attività estrattiva e sostenibilità, individuazione delle fonti potenziali di approvvigionamento inerti, estensione delle aree potenziali e delle riserve probabili per materie ecc.); studi della componente floristico-vegetazionale nel quadro ecosistemico territoriale (es. analisi confermativa e/o esplorativa su area vasta circa le connessioni tra tipologia di substrato e copertura vegetale); studi di geomorfologia dinamica (es. carta del rischio frane, carta di suscettibilità dei terreni ai fenomeni di erosione ecc.) (Conte, 2005).

3.3 Metodo di lavoro

Il lavoro di trasformazione delle unità geologiche in unità litologiche, sulla base della legenda sopra riportata, è stato articolato in tre distinte fasi.

Nella prima fase si è proceduto ad assegnare, ad ogni voce di legenda della carta geologica, il corrispettivo codice identificativo dell'unità previsto dalla legenda litologica e dei codici delle classificazioni secondarie, ove possibile. L'assegnazione dei codici si è basata sulla rilettura dei dati di letteratura ottenuti passando in rassegna tutte le informazioni contenute nelle legende dei fogli geologici e nelle relative note illustrative. Queste ultime sono state spesso indispensabili per facilitare l'assegnazione univoca di un'unità ad una classe litologica piuttosto che ad un'altra, o per compilare le tabelle relative alle informazioni secondarie. Purtroppo però non è stato possibile reperirle per tutti i fogli geologici di nostra competenza, ma soltanto per i fogli di Venezia (50), S.

Donà di Piave e Foce del Tagliamento (52-53), Adria (65), Ferrara (76), Comacchio (77) e Bologna (87). Per i fogli di cui non sono state disponibili le note si è cercato di integrare le informazioni contenute nella legenda con quelle riportate nelle note illustrative, ove presenti, dei fogli confinanti che contenessero formazioni in continuità con quelle interessate. Anche questa operazione è risultata tuttavia difficoltosa, in quanto non di rado autori diversi chiamano le stesse formazioni con nomi differenti, oppure, a volte, la continuità delle unità geologiche si interrompe bruscamente a bordo foglio per discrepanze interpretative dei vari rilevatori.

I codici assegnati in questo modo sulla carta sono stati successivamente trascritti mediante un'operazione di *data entry*, accedendo tramite un applicativo elaborato dal gruppo di lavoro del Servizio Geologico in Arcmap alla banca dati centrale contenuta nel server ArcSDE/SQL (*Structured Query Language*) Apatsgn01.

In questa banca dati è stato realizzato un collegamento tra i poligoni che rappresentano le unità geologiche, identificati singolarmente con una chiave ULF (Unità Litologica Fondamentale), e le 6 diverse classi di legenda, mediante una tabella (TABLITO), creata *ad hoc* dal Servizio Geologico d'Italia per il progetto. Si è lavorato quindi combinando *layer* contenenti la cartografia vettorializzata e tabelle che rappresentano le legende.

La TABLITO ha nell'asse delle ascisse tante righe quante sono le formazioni geologiche presenti in ogni foglio della carta geologica e nell'asse delle ordinate le categorie classificative. Questo asse si compone di 8 colonne: la prima contiene la chiave ULF, ovvero un codice di identificazione univoca dei poligoni raffiguranti le unità geologiche, a cui fa seguito, nella seconda colonna il nome dell'unità raffigurata da quel determinato poligono. Nella terza colonna (Lito1) sono riportati i codici relativi alla classificazione litologica; nella quarta (Lito2) quelli riguardanti l'origine delle rocce; la quinta (Lito3) codifica le informazioni geotecniche circa la consistenza; la sesta colonna (Lito4) contiene codici indicativi dei processi deposizionali che hanno portato alla formazione dei depositi continentali e degli ambienti deposizionali delle formazioni marine; mentre le colonne 7 (Lito5) e 8 (Lito6) contemplano, rispettivamente l'aspetto complessivo degli ammassi rocciosi e la loro struttura interna di dettaglio (fig. 3.3.1).

Attraverso questa tabella si può selezionare singolarmente ciascun foglio geologico e caricarne l'elenco delle formazioni contenute. L'assegnazione dei codici è consentita dall'opzione "Modifica", dopo aver selezionato la formazione su cui si vuole intervenire.

Litologia

Seleziona il foglio geologico:

[095] BOLOGNA [97]

Num	Chiave	Nome ULF	Lito1	Lito2	Lito3	Lito4	Lito5	Lito6
1	0870002	detriti di falda	B7	2FC	3	4P1	5D	6
2	0870004	terrazzi di fondo valle	B7	2SD	3D	4P2	5D	6
3	0870005	alluvioni di pianura	B3	2FC	3	4P1	5D	6
4	0870006	terrazzi dei fianchi di valle	B4	2SD	3D	4P2	5D	6
5	0870008	conglomerati con terre brune e coque di carboni	A8	2FC	3L	4P1	vuoto	vuoto
6	0870010	conglomerati con granulati fini	A8	2SD	3L	4P1	vuoto	vuoto
7	0870013	argille sabbiose grigie	A7	2SD	3L	4A4	5A	6
8	0870015	argille azzurre plastiche	A7	2SD	3L	4A4	vuoto	vuoto
9	0870020	argille grigie	A7	2SD	3L	4A4	vuoto	vuoto
10	0870023	marna calcarea silicea	A3	2SD	3L	4A4	5B	vuoto
11	0870026	argille rosse e verdi	A7	2SD	3L	4A4	5B	6
12	0870028	sabbie grossolane chiare	A9	2SD	vuoto	vuoto	5F	vuoto
13	0870029	argille scagliose	C1	2SD	3C	4A4	5B	6
14	0870031	argille scagliose	C1	2SD	3C	4A4	5B	6
15	0870033	blocchi di pietre verdi	F4	2D1	3L	vuoto	vuoto	vuoto
16	0870034	sabbie finissime	B2	2FC	vuoto	4P1	vuoto	vuoto
17	0870001	alluvioni di pianura	B3	2FC	3	4P1	5D	6
18	0870003	ghiaie e sabbie dei conoidi	B3	2FC	vuoto	4P1	vuoto	vuoto
19	0870007	terrazzi alti	B4	2SD	3D	4P2	vuoto	vuoto
20	0870008	terre rosse	B6	2FC	vuoto	4P6	vuoto	vuoto

Modifica

Figura 3.3.1: Tabella litologia.

Classificazione litologica

Litotipi Genetica Consistenze Sedimentarie Struttura omogenea Struttura dettagliata

Seleziona il tipo:

A B C D E F G H N

calciutiti, calcareniti, calciruditi, calcari dolomitici, calcari pelitici,
dolomie, dolomie calcaree
calcari marnosi, marna calcarea, alternanze calcari-marna, calcari-argille, dolomie-marna, dolomie-argille
redioliti e diaspri
quarzareniti, quartzoliti, quartzonidi (prevalenza di cemento siliceo)
depositi diatomitici (tripoli)
marna, argilli, silti
conglomerati, breccie, puddinghe
arenarie, arenarie + conglomerati, arenarie + sabbie
complesso pelitico-arenaceo, pelitico-arenaceo-conglomeratico, calcareo-marnoso-arenaceo
complesso calcareo (dolomitico) - arenaceo, calcareo (dolomitico)-marnoso-arenaceo
sedimenti evaporitici
sedimenti residui (barrati, lateriti)
sedimenti grossolani (ecora-alfusa) cementati, detriti e falde di detriti cementati
travertini

Figura 3.3.2: Menù a cartelle che consente l'inserimento dei codici nel database.

Questa opzione apre un menù a cartelle (fig. 3.3.2) dal quale è possibile scegliere le voci, presenti nel dizionario dei vari attributi, che meglio rappresentano l'unità in questione nei 6 diversi campi. Avvenuta la selezione la tabella trasforma automaticamente le informazioni chiare e leggibili in codici.

Nella seconda fase si visualizzano i fogli litologici così ottenuti per valutarne la continuità e la coerenza.

Tramite l'interfaccia di ArcMap si è effettuato un collegamento SDE alla tabella "TABLITO", risiedente nella banca dati "CartGeol", questo ha permesso il caricamento e la visualizzazione delle unità geologiche per litologie differenti (fig. 3.3.3).

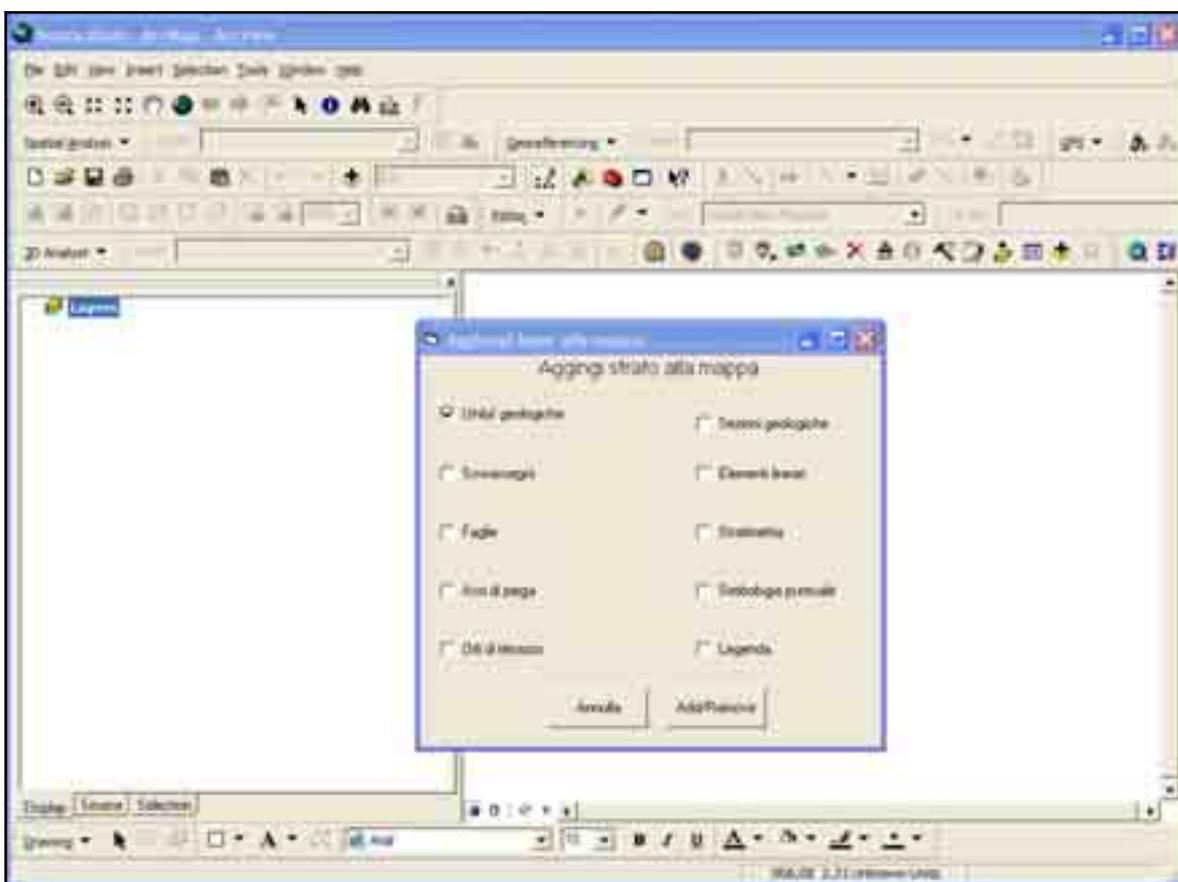


Figura 3.3.3: Finestra *add layer to map*.

Questa operazione permette di visualizzare tutti i poligoni raffiguranti le unità geologiche della Carta Geologica d'Italia vettorializzata (fig. 3.3.4). Per rendere visibili le unità litologiche che raggruppano tali poligoni, si realizza un collegamento tra il *layer* vettoriale e la tabella mediante un'operazione di *join*. Dal menù delle proprietà è poi possibile assegnare ad ogni litologia un cromatismo specifico, rappresentativo del corrispondente codice alfanumerico contenuto nella colonna Lito1 della TABLITO. Questa operazione di riempimento dei poligoni con il colore assegnato, contemporaneamente

estesa a tutte le unità litologiche presenti, permette un immediato confronto visivo del quadro dei fogli elaborati (fig. 3.3.5).

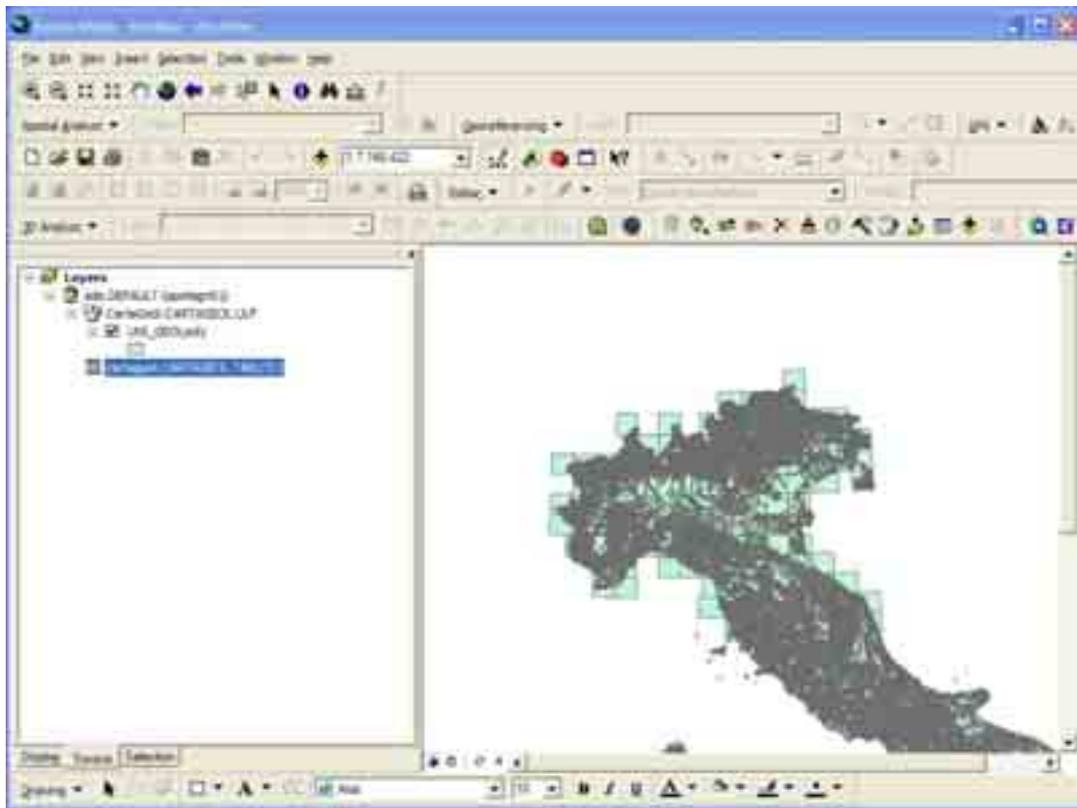


Figura 3.3.4: Layer contenente i poligoni delle unità geologiche della Carta Geologica d'Italia vettorializzata.

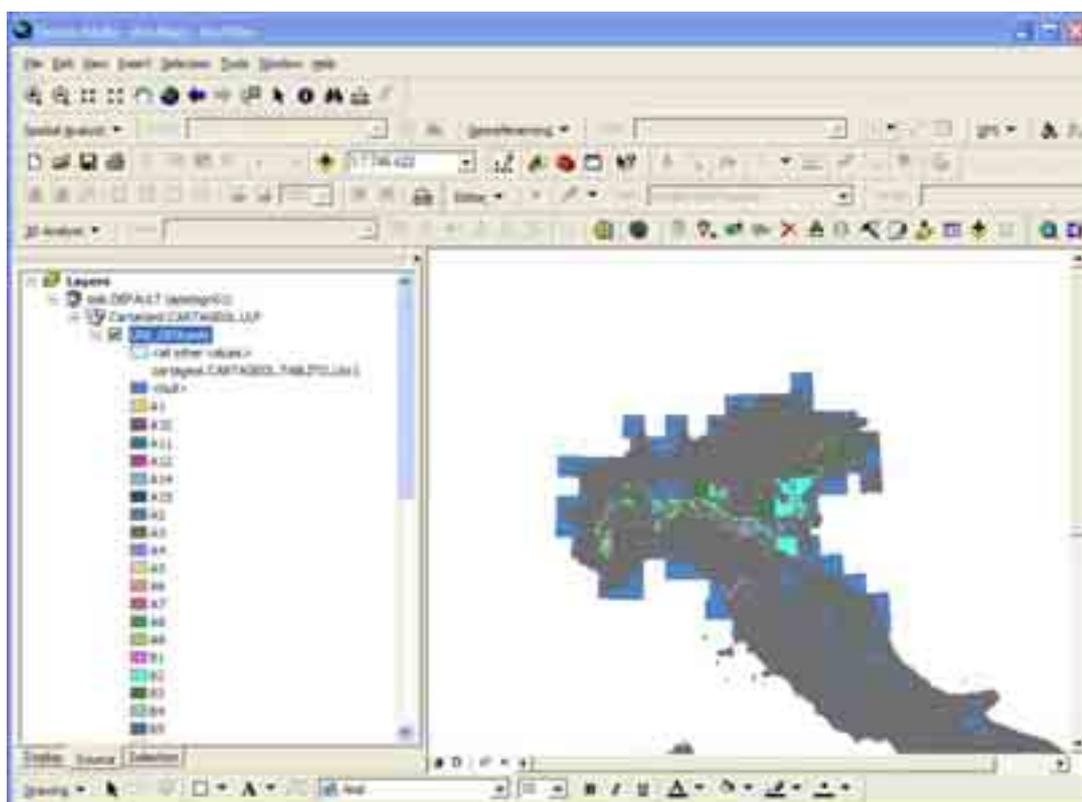


Figura 3.3.5: Visualizzazione della carta litologica.

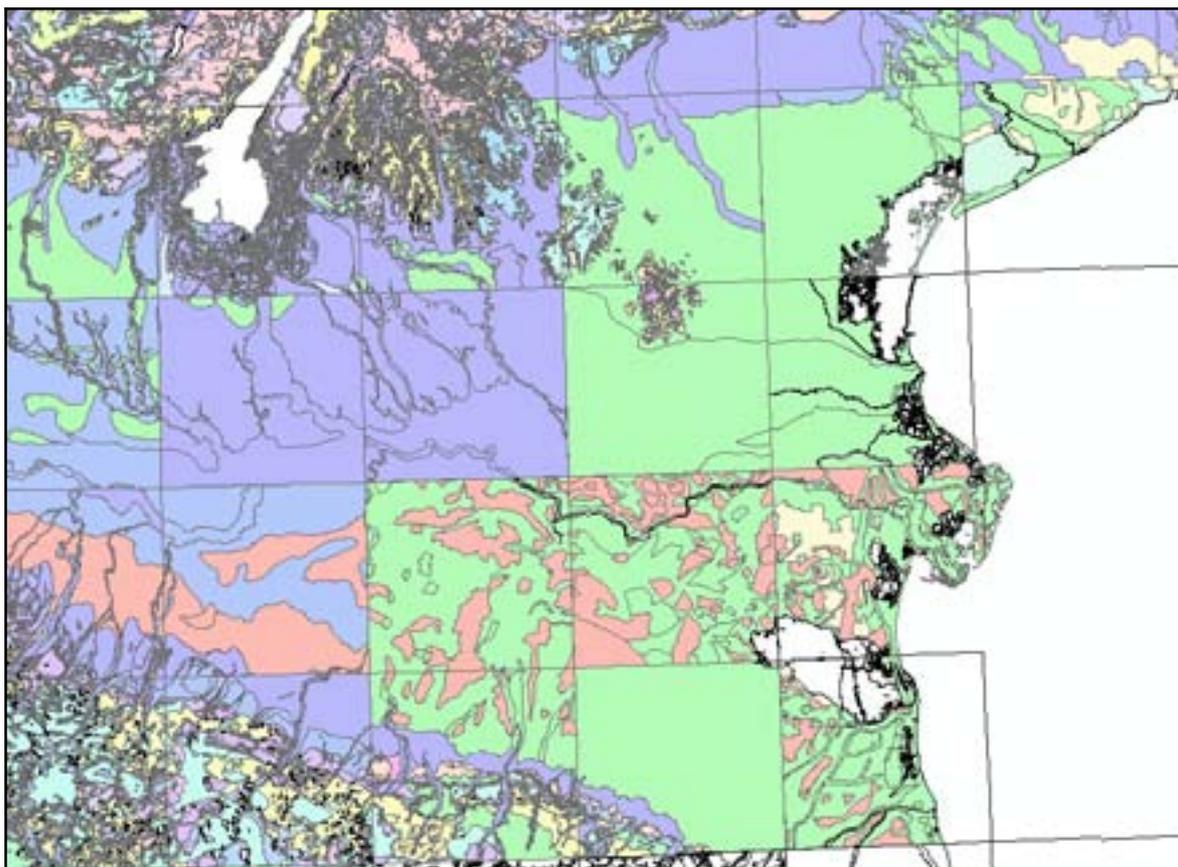


Figura 1.3.6: Particolare della carta litologica dell'area di studio, visualizzata da ArcMap.

Tramite il confronto cromatico, la mappa consente di verificare la continuità delle unità litologiche al contatto dei vari fogli. Qualora questa non sia stata rispettata si passa, nella terza fase, a considerare la natura di tutte le discordanze riscontrate. Le incongruenze sottese dalle molteplici discontinuità possono essere, invero, di varia origine e in base ad essa più o meno appianabili.

A volte i diversi rilevatori utilizzano un differente criterio descrittivo per l'identico affioramento in fogli adiacenti; in questo modo la stessa unità geologica si trova ad avere limiti a diversa scala di dettaglio, dovuti alla rappresentazione o meno delle subunità di ordine inferiore. Sempre a causa della mancanza di un criterio descrittivo uniforme, alcuni rilevatori danno maggior risalto alle coperture, mentre altri preferiscono riportare le formazioni del substrato anche se coperte. Questo determina una disomogeneità nella rappresentazione e nel suo contenuto informativo intrinseco. Altre volte invece, due formazioni del tutto distinte (es. tufi e basalti) mostrano contatti netti, decisamente innaturali, che coincidono con il limite del foglio. Per tutti questi casi, purtroppo, trovare una soluzione non è stato possibile, in quanto si è deciso di operare utilizzando la sola Carta Geologica d'Italia e le relative note illustrative, senza integrarne o modificarne il

contenuto. In altri casi, dove l'attribuzione dei codici è stata incerta, riesaminando le fonti informative utilizzate nella classificazione delle unità si è provveduto all'assegnazione di un nuovo codice. In particolare sono state effettuate analisi incrociate utilizzando i fogli adiacenti a quello interessato, con lo studio delle rispettive legende e note illustrative. Questo tipo di analisi ha portato a volte alla soluzione del problema, altre volte, invece, ha favorito un'exasperazione della complessità.

4. ANALISI DEI DATI

4.1 Descrizione dei dati ottenuti

L'iter procedurale precedentemente descritto ha portato alla produzione dei 12 fogli litologici di cui sono di seguito riportate le tabelle classificative.

La colonna Lito2, cioè quella riguardante l'aspetto genetico delle unità, non è stata riempita in nessuna tabella perchè ci si è resi conto, in corso d'opera, che tale informazione è insita nei codici della Lito1. Si provvederà quindi, in un secondo momento, a compilare automaticamente la Lito2 a partire dalla Lito1 mediante una *query*. Anche la colonna Lito4 presenta degli spazi vuoti in corrispondenza delle unità deposte in ambiente marino. Questo perchè si è appurato che l'attuale schema classificativo, per gli ambienti deposizionali delle formazioni marine, non è esaustivo, dunque in attesa di miglioramento.

Foglio 50 – Padova

CHIAVE	NOME ULF	LITO1	LITO2	LITO3	LITO4	LITO5	LITO6
500001	alluvioni ghiaioso-sabbiose	B3	vuoto	3I	4P1	5O	6O
500004	alluvioni sabbiose e argillose	B2	vuoto	3I	4P1	5O	6O
500010	calcari	A11	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
500011	calcari, tufi e brecciole basaltiche	A1	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
500014	scaglia	A3	vuoto	3L	vuoto	5B	6D
500015	biancone	A3	vuoto	3L	vuoto	5B	6D
500016	basalti	D3	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
500017	lipariti	D1	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
500018	trachiti in generale	D2	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
500002	travertino	A15	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
500003	torbe e terreni torbosi	B5	vuoto	3C	vuoto	5O	6O
500005	alluvioni ghiaiose	B3	vuoto	3I	4P1	5O	6O
500006	morene prewurmiane	B4	vuoto	3O	4P2	5O	6O
500007	sabbie silicee	B2	vuoto	3I	vuoto	5O	6O
500008	arenarie e calcari arenacei	A11	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
500009	calcari dolomitici a coralli	A11	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
500012	brecciole basaltiche a tufi basaltici	A8	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
500013	marne alternate a tufi	A7	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
500019	andesiti	D2	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
500020	necks ad elementi andesitici	D2	vuoto	3L	vuoto	5O	6O

Foglio pubblicato nel 1947, rilevatori: Fabiani R., Perin G., Malaroda R., Dal Piaz G., Stark M., Ogniben L., Riedel A., Schiavinato G., Negri A., Feruglio D.; unità geologiche: 20, unità litologiche: 13.

Alla voce “calcari, tufi e brecciole basaltiche” è stato assegnato il codice Lito1 “A1”, attribuendo l’unità alla categoria di appartenenza del primo termine che compare nella voce di legenda (in questo caso calcari), ritenuto per tale motivo il predominante nella formazione. Lo stesso ragionamento è stato applicato nell’attribuzione della voce “marne alternate a tufi” alla classe “A7” che caratterizza le marne.

Questo foglio presenta delle incongruenze con quelli limitrofi, non ancora risolte. Al contatto con il sovrastante foglio 37 Bassano del Grappa, le alluvioni che costituiscono i letti dei fiumi Brenta e Bacchiglione mostrano uno stacco netto. Nel foglio 50 sono indicate come alluvioni ghiaioso-sabbiose, dunque classificate con il codice B3; mentre nel foglio 37 sono descritte come alluvioni recenti o attuali, limo, sabbie con elementi poco o nulla alterati, quindi codificate con B4. Il limite occidentale col foglio 49 Verona è disseminato di contatti netti tra formazioni diverse, che coincidono insolitamente con il limite dei fogli. I “basalti colonnari” (D3) e i “tufi e ialoclastiti basaltici” (D6) del foglio 49 confinano con le “lipariti” (D1) del foglio 50. Anche il limite con il sottostante foglio 64 Rovigo non è scevro da problemi: “basalti” (D3) sono in continuità con “tufi basaltici” (D5).

Foglio 51- Venezia

CHIAVE	NOME ULF	LITO1	LITO2	LITO3	LITO4	LITO5	LITO6
510001	alluvioni di piave	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510001	alluvioni di piave	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510002	alluvioni di piave con pochi elementi di brenta	B4	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510002	alluvioni di piave con pochi elementi di brenta	B4	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510003	alluvioni di piave con pochi elementi di brenta	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510003	alluvioni di piave con pochi elementi di brenta	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510005	alluvioni di brenta	B3	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510005	alluvioni di brenta	B3	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510006	alluvioni di brenta	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510006	alluvioni di brenta	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510001	alluvioni di piave	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510001	alluvioni di piave	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510002	alluvioni di piave con pochi elementi di brenta	B4	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510002	alluvioni di piave con pochi elementi di brenta	B4	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510003	alluvioni di piave con pochi elementi di brenta	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510003	alluvioni di piave con pochi elementi di brenta	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510005	alluvioni di brenta	B3	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510005	alluvioni di brenta	B3	vuoto	3l	4P1	5O	6O

510006	alluvioni di brenta	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510006	alluvioni di brenta	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510004	alluvioni miste di piave e brenta con prev. di piave	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510004	alluvioni miste di piave e brenta con prev. di piave	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510004	alluvioni miste di piave e brenta con prev. di piave	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O
510004	alluvioni miste di piave e brenta con prev. di piave	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O

Foglio pubblicato nel 1954, rilevatore: Zanettin B.; unità geologiche: 4, unità litologiche: 3.

Le “alluvioni di Piave con pochi elementi di Brenta” e le “alluvioni di Brenta” sono entrambe suddivise in due membri (“a” e “d”) di natura granulometrica diversa, quindi presentano due codici Lito1 diversi: “B2” e “B4” per le prime, “B2” e “B3” per le seconde. Nell’angolo NW, il membro “d” delle “alluvioni di Brenta”, descritto come: diluviali (ghiaie, sabbie grossolane, limi), quindi teoricamente classificabile col codice “B4”, è stato invece codificato con “B3” in virtù delle indicazioni granulometriche riportate in carta (GS = ghiaie sabbiose, G = ghiaie, S = sabbie), ma anche per ottenere una continuità col sovrastante foglio 38 Conegliano. Tale continuità viene comunque interrotta poco più a Est dal membro “d” delle “alluvioni di Piave con pochi elementi di Brenta”, la cui attribuzione alla classe “B4”, dedotta sia dalla legenda che dalle lettere in carta (G = ghiaie, GS = ghiaie sabbiose, L = limi, LT = limi torbosi, LA = limi argillosi, A = argille, T = torbe), non è in discussione. Tali alluvioni risultano troncate al contatto col foglio 38 dal “fluvioglaciale del massimo *wurmiano*” (B3), descritto come: alluvioni ghiaiose fluvioglaciali dell’Alta pianura e terreno bruno, talora con dilavamento delle argille rosse carsiche site a monte.

Foglio 52/53 – S. Donà di Piave/Foce del Tagliamento

CHIAVE	NOME ULF	LITO1	LITO2	LITO3	LITO4	LITO5	LITO6
520001	isolotti lagunari e alveo dei fiumi	N1	vuoto	3l	4P1	5O	6O
520002	dune costiere e formazioni sabbiose litoranee	B2	vuoto	3l	vuoto	5O	6O
520003	sedimenti di fondo lagunare	B5	vuoto	3C	vuoto	5O	6O
520005	zona di transizione e più antiche alluvioni	B3	vuoto	3l	vuoto	5O	6O
520006	alluvioni sabbioso-argillose	B2	vuoto	3D	4P1	5O	6O
520004	alluvioni sabbioso-limose calcareo-dolomitiche	B2	vuoto	3l	4P1	5O	6O

Foglio pubblicato nel 1959, rilevatore: Comel A.; unità geologiche: 6, unità litologiche: 4.

Alla voce “isolotti lagunari e alveo dei fiumi” è stato assegnato il codice “N1”, poiché dal punto di vista applicativo sono trascurabili. Con la locuzione “isolotti lagunari”

si intendono infatti le barene, cioè bassofondi o dossi sabbiosi delle lagune che emergono dall'acqua con la bassa marea.

Foglio 63 – Legnano

CHIAVE	NOME ULF	LITO1	LITO2	LITO3	LITO4	LITO5	LITO6
630001	alluvioni sabbioso-ghiaiose	B3	vuoto	3I	4P1	5O	6O
630002	alluvioni recenti	B3	vuoto	3I	4P1	5O	6O
630003	alluvioni antiche	B3	vuoto	3I	4P1	5O	6O
630004	dossi di terreno sabbioso sterili	B2	vuoto	3I	4P1	5O	6O

Foglio rilevato nel 1894 e pubblicato nel 1932, rilevatore: Sacco F.; unità geologiche: 4, unità litologiche: 2.

L'assegnazione dei codici della colonna Lito1 è stata particolarmente controversa, poiché la legenda della carta geologica non fornisce informazioni circa la granulometria delle alluvioni e per questo foglio non sono disponibili le note illustrative. Confrontando questo con l'adiacente foglio Mantova (62), rilevato dallo stesso autore alcuni anni prima (1891), abbiamo dedotto le connotazioni granulometriche delle alluvioni dall'autore distinte in antiche e recenti, in entrambi i fogli. Anche se esiste una seconda edizione, non ancora vettorializzata, del foglio Mantova, rilevata da Cozzaglio A. (1934), sostanzialmente diversa dalla prima, per quanto riguarda il presente lavoro ci si è basati sull'edizione contenuta nel "Mapset repertorio completo della cartografia geologica d'Italia", fonte originaria dei dati geologici. Con molta probabilità questo foglio, in seguito al reperimento delle nuove fonti, verrà rielaborato.

Foglio 64 – Rovigo

CHIAVE	NOME ULF	LITO1	LITO2	LITO3	LITO4	LITO5	LITO6
640016	filoni trachitici	D2	vuoto	3L	vuoto	5D	6O
640001	alluvioni miste di Brenta e Bacchiglione	B2	vuoto	3D	4P1	5O	6O
640002	alluvioni dell'Adige	B2	vuoto	3D	4P1	5O	6O
640003	alluvioni prevalentemente di po	B2	vuoto	3D	4P1	5O	6O
640004	marne alternate a tufi	A7	vuoto	3L	vuoto	5B	6O
640005	scaglia	A3	vuoto	3L	vuoto	5B	6O
640006	biancone	A3	vuoto	3L	vuoto	5B	6D
640007	malm presso Fontanafredda	A1	vuoto	3L	vuoto	5B	6O
640008	tufi basici	D5	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
640009	lipariti	D1	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
640010	brecce e tufi liparitici	A8	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
640011	trachiti plagioclastiche	D2	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
640012	andesiti	D2	vuoto	3L	vuoto	5O	6O

640013	necks ad elementi andesitici	D2	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
640014	filoni basaltici e basaltico-limburgitici	D3	vuoto	3L	vuoto	5D	6O
640015	filoni liparitici	D1	vuoto	3L	vuoto	5D	6O
640017	filoni andesitici e trachibasaltici	D3	vuoto	3L	vuoto	5D	6O

Foglio pubblicato nel 1952, rilevatori: Schiavinato G., Dal Piaz G., Stark M., Ogniben L.; unità geologiche: 17, unità litologiche: 9.

Il “Malm presso Fontanafredda” è stato assegnato alla classe “A1” sulla base di considerazioni strettamente personali, poiché mancano le note illustrative e in legenda non sono riportate altre informazioni oltre al nome della formazione. Considerando che tale formazione si trova, nella successione stratigrafica, al di sotto del “biancone” e si è deposta nel Giurassico superiore (Malm), è lecito supporre che si tratti di un’unità essenzialmente calcarea.

Foglio 65 – Adria

CHIAVE	NOME ULF	LITO1	LITO2	LITO3	LITO4	LITO5	LITO6
650001	alluvioni in prevalenza di brenta-bacchiglione	B2	vuoto	3I	4P1	5O	6O
650002	alluvioni in prevalenza di adige	B2	vuoto	3I	4P1	5O	6O
650003	alluvioni in prevalenza di po	B2	vuoto	3I	4P1	5O	6O

Foglio pubblicato nel 1954, rilevatore: Zanettin B.; unità geologiche: 3, unità litologiche: 1.

Questo foglio non ha presentato particolari problemi, in quanto costituito totalmente da alluvioni con granulometria piuttosto uniforme. Al confine con il sottostante foglio 77 Comacchio si notano però delle incongruenze dovute alla differenza di dettaglio adottata nel rilevamento dei due fogli.

Foglia 75 – Mirandola

CHIAVE	NOME ULF	LITO1	LITO2	LITO3	LITO4	LITO5	LITO6
750001	sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi	B2	vuoto	3I	4P1	5O	6O
750001	sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi	B2	vuoto	3I	4P1	5O	6O
750002	argille sabbiose e sabbie argillose	B2	vuoto	3D	4P1	5O	6O
750002	argille sabbiose e sabbie argillose	B2	vuoto	3D	4P1	5O	6O
750003	argille e terreni prevalentemente argillosi	B1	vuoto	3C	4P1	5O	6O
750003	argille e terreni prevalentemente argillosi	B1	vuoto	3C	4P1	5O	6O
750004	argille ipercolloidali e salate della burana	B1	vuoto	3C	vuoto	5O	6O
750004	argille ipercolloidali e salate della burana	B1	vuoto	3C	vuoto	5O	6O
750001	sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi	B2	vuoto	3I	4P1	5O	6O
750001	sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi	B2	vuoto	3I	4P1	5O	6O

750002	argille sabbiose e sabbie argillose	B2	vuoto	3D	4P1	5O	6O
750002	argille sabbiose e sabbie argillose	B2	vuoto	3D	4P1	5O	6O
750003	argille e terreni prevalentemente argillosi	B1	vuoto	3C	4P1	5O	6O
750003	argille e terreni prevalentemente argillosi	B1	vuoto	3C	4P1	5O	6O
750004	argille ipercolloidali e salate della burana	B1	vuoto	3C	vuoto	5O	6O
750004	argille ipercolloidali e salate della burana	B1	2FC	vuoto	4A5	vuoto	vuoto

Foglio rilevato nel 1955 e pubblicato nel 1956, rilevatore: Lipparini T.; unità geologiche: 4, unità litologiche: 2.

Lungo i margini Nord (63 Legnano) e Ovest (74 Reggio Emilia) di questo foglio si notano discordanze circa le granulometrie delle alluvioni.

Foglio 76 – Ferrara

CHIAVE	NOME ULF	LITO1	LITO2	LITO3	LITO4	LITO5	LITO6
760001	terreni sabbiosi	B2	vuoto	3I	4P1	5O	6O
760002	terreni sabbioso-argillosi	B2	vuoto	3D	4P1	5O	6O
760003	terreni argillo-sabbiosi	B1	vuoto	3D	4P1	5O	6O
760004	terreni argillosi	B1	vuoto	3C	4P1	5O	6O
760005	terreni contenenti più del 10% di sost. organiche	B1	vuoto	3C	4P1	5O	6O
760006	terreni argillo-sabbiosi	B1	vuoto	3D	4P1	5O	6O

Foglio rilevato negli anni 1952/53 e pubblicato nel 1955, rilevatore: Accordi B.; unità geologiche: 5, unità litologiche: 2.

I bordi Nord (64 Rovigo) e Sud (88 Imola) mostrano una discordanza nel dettaglio della differenziazione granulometrica delle alluvioni.

Foglio 77 – Comacchio

CHIAVE	NOME ULF	LITO1	LITO2	LITO3	LITO4	LITO5	LITO6
770004	argille e terreni prevalentemente argillosi	B1	vuoto	3I	4P1	5O	6O
770003	argille sabbiose e sabbie argillose	B2	vuoto	3I	4P1	5B	6O
770001	sabbie fluviali	B2	vuoto	3I	4P1	5B	6O
770002	duna marina consolidata	B2	vuoto	3L	vuoto	5B	6H
770005	torba e argille torbose	B5	vuoto	3I	4P1	5O	6O

Foglio rilevato negli anni 1959/60 e pubblicato nel 1963, rilevatore: Lipparini T.; unità geologiche: 5, unità litologiche: 3.

Al contatto col sovrastante foglio 65 Adria si osserva la già citata discrepanza nella granulometria delle alluvioni, ereditata dalla fonte originale.

Foglio 87 – Bologna

CHIAVE	NOME ULF	LITO1	LITO2	LITO3	LITO4	LITO5	LITO6
870002	detrito di falda	B7	vuoto	3I	4P1	5O	6O
870004	terrazzi di fondo valle	B7	vuoto	3O	4P2	5O	6O
870005	alluvioni di pianura	B3	vuoto	3I	4P1	5O	6O
870006	terrazzi dei fianchi di valle	B4	vuoto	3D	4P2	5O	6O
870009	conglomerati con terre brune e ossa di cervus	A8	vuoto	3L	4P1	5O	6O
870010	conglomerati con manufatti litici	A8	vuoto	3L	4P1	5O	6O
870013	argille sabbiose grigie	A7	vuoto	3L	vuoto	5A	6E
870019	argille azzurre plastiche	A7	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
870020	argille grigie	A7	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
870023	marne calcaree siliciose	A3	vuoto	3L	vuoto	5B	6O
870026	argille rosse e verdi	A7	vuoto	3L	vuoto	5B	6E
870028	sabbie grossolane chiare	A9	vuoto	3O	vuoto	5F	6O
870029	argille scagliose	C1	vuoto	3C	vuoto	5B	6G
870031	argille scagliose	C1	vuoto	3C	vuoto	5B	6G
870033	blocchi di pietre verdi	F4	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
870034	sabbie fluviali	B2	vuoto	3I	4P1	5O	6O
870001	alluvioni di pianura	B3	vuoto	3I	4P1	5O	6O
870003	ghiaie e sabbie dei conoidi	B3	vuoto	3I	4P1	5O	6O
870007	terrazzi alti	B4	vuoto	3I	4P2	5O	6O
870008	terre rosse	B6	vuoto	3I	4P6	5O	6O
870011	conglomerati fluv. raccordabili con le sabbie gialle	A8	vuoto	3L	4P1	5O	6O
870012	sabbie giallo dorate	A9	vuoto	3O	vuoto	5O	6O
870014	sabbie giallestre e sabbie argillose giallo-grigiastre	B2	vuoto	3O	vuoto	5O	6O
870015	argille grigio-azzurre	C1	vuoto	3L	vuoto	5B	6O
870016	argille grigio-azzurre o grigio-cenere	C1	vuoto	3O	vuoto	5O	6O
870017	facies continentale e lagunare	A10	vuoto	3O	vuoto	5O	6O
870018	facies gessosa di natura evaporitica	A12	vuoto	3L	vuoto	5A	6E
870021	marne sabbiose	A11	vuoto	3L	vuoto	5F	6E
870022	marne sabbiose	A11	vuoto	3L	vuoto	5F	6E
870024	argille verdine con livelli di marne calcaree silicee	A7	vuoto	3O	vuoto	5O	6O
870025	argille plastiche grigio-verdastre	A7	vuoto	3I	4P1	5O	6O
870027	argille rosse e verdi	A7	vuoto	3O	4P2	5O	6O
870030	argille scagliose	C1	vuoto	3I	4P1	5O	6O
870032	argille scagliose	C1	vuoto	3D	4P2	5O	6O
870035	argille sabbiose e sabbie argillose	B2	vuoto	3L	4P1	5O	6O
870036	argille e terreni prev. argillosi e di bonifica	B1	vuoto	3L	4P1	5O	6O
870037	coni di deiezione	B7	vuoto	3L	vuoto	5A	6E

Foglio rilevato negli anni 1956/57 e pubblicato nel 1963 (2^a edizione), rilevatore: Lipparini T.; unità geologiche: 32, unità litologiche: 15.

Il bordo nord-occidentale, presenta una discontinuità nella granulometria dei depositi alluvionali: “argille sabbiose e sabbie argillose” (B2) passano, nell’attiguo foglio 86 Modena, a “diluvium recente tardivo (alluvioni ghiaiose con lenti argilloso-sabbiose dell’alta pianura, a suolo prevalentemente bruno)”, codificato con “B3”. Inoltre,

particolare attenzione è stata prestata nell'assegnazione della formazione delle "pietre verdi", ossia erratici di serpentino , diabase, gabbro ed eufotide più breccie subaeree o di elaborazione sottomarina alla base delle formazioni oligoceniche, dove queste sono trasgressive. Questa voce di legenda è stata inserita nella classe degli ofioliti (F4), poiché la legenda litologica attualmente non prevede una classe che contempi gli olistoliti .

Foglio 88 – Imola

CHIAVE	NOME ULF	LITO1	LITO2	LITO3	LITO4	LITO5	LITO6
880007	conglomerati continentali	A8	vuoto	3L	4P1	5O	6O
880010	sabbie argillose a argille sabbiose	A10	vuoto	3L	vuoto	5A	6E
880011	sabbie argillose a argille sabbiose	A10	vuoto	3L	vuoto	5A	6E
880012	argille grigio-azzurre	C1	vuoto	3L	vuoto	5B	6O
880015	argille grigie	A7	vuoto	3L	vuoto	5B	6O
880016	marne sabbiose	A11	vuoto	3L	vuoto	5F	6E
880017	marne silicee	A3	vuoto	3L	vuoto	5B	6O
880021	argille scagliose	C1	vuoto	3C	vuoto	5B	6G
880002	ghiaie e sabbie	B3	vuoto	3I	4P1	5O	6O
880006	terre rosse	B6	vuoto	3I	4P6	5O	6O
880008	sabbie giallo-dorate	A9	vuoto	3L	vuoto	5B	6O
880014	gessi	A12	vuoto	3L	vuoto	5A	6E
880020	argille rosse e verdi	A7	vuoto	3L	vuoto	5B	6O
880022	argille scagliose	C1	vuoto	3C	vuoto	5B	6G
880025	terreni sabbiosi	B3	vuoto	3I	vuoto	5O	6O
880026	terreni sabbiosi-argillosi	B2	vuoto	3I	vuoto	5O	6O
880028	terreni	B1	vuoto	3I	vuoto	5O	6O
880005	terrazzi alti	B4	vuoto	3I	4P1	5B	6O
880001	alluvione di pianura	B2	vuoto	3I	4P1	5O	6O
880003	terrazzi di fondo valle e alluvione di pianura	B7	vuoto	3I	4P1	5O	6O
880004	terrazzi dei fianchi di valle	B4	vuoto	3I	4P1	5B	6O
880009	conglomerati continentali	A8	vuoto	3L	4P1	5A	6O
880013	marne fogliettate	A7	vuoto	3L	vuoto	5B	6G
880018	argille	A7	vuoto	3C	vuoto	5B	6G
880019	molasse tenere chiare	A10	vuoto	3N	vuoto	5A	6O
880023	argille scagliose	C1	vuoto	3C	vuoto	5B	6G
880024	argille scagliose	C1	vuoto	3C	vuoto	5B	6G
880027	terreni argillosi-sabbiosi	B2	vuoto	3I	vuoto	5O	6O
880029	terreni di bonifica	N2	vuoto	3I	vuoto	5O	6O

Foglio rilevato negli anni 1952/53 e pubblicato nel 1958 (2^a edizione), rilevatori: Lipparini T., Accordi A.; unità geologiche: 25, unità litologiche: 15.

Questo foglio mostra una discrepanza con i fogli circostanti nella granulometria delle alluvioni, dovuta alla una mancata digitalizzazione di alcune unità alluvionali.

Foglio 89 – Ravenna

CHIAVE	NOME ULF	LITO1	LITO2	LITO3	LITO4	LITO5	LITO6
890002	duna marina consolidata	B2	vuoto	3L	vuoto	5O	6O
890003	argille sabbiose e sabbie argillose	B2	vuoto	3D	4P1	5O	6O
890001	sabbie fluviali o di elaborazione litorale	B2	vuoto	3I	4P1	5O	6O
890004	argille e terreni prevalentemente argillosi	B1	vuoto	3C	4P1	5O	6O
890005	torba e argille torbose	B5	vuoto	3C	4P1	5O	6O

Foglio rilevato nel 1955 e pubblicato nel 1956, rilevatore: Lipparini T.; unità geologiche: 5, unità litologiche: 3.

Per quanto riguarda i contatti netti a bordo foglio tra formazioni diverse, purtroppo non si può intervenire in alcun modo per eliminare le incongruenze, in quanto queste sono insite nella cartografia originaria che si è scelto di adottare come fonte immutabile dei dati geologici.

Le variazioni granulometriche “anomale” dei depositi alluvionali, anch’esse ereditate dalla CGI, non sono state corrette in questa sede perché si è scelto di adottare un criterio comune per tutto il territorio nazionale, una volta terminata la redazione della carta litologica d’Italia, ragionando sui problemi riscontrati in tutti i 277 fogli. Quindi per ottenere una versione litologicamente più omogenea e coerente dei 12 fogli in esame occorrerà attendere il completamento del progetto.

4.2 Analisi dei dati

Analizzando le tabelle classificative sopra riportate si osserva che in totale le unità geologiche presenti nei 12 fogli in esame sono 108, raggruppate in 25 classi litologiche.

La media delle unità geologiche per foglio è circa 10.8, mentre quella delle unità litologiche è quasi la metà (circa 5.8).

Sebbene questo non sia un campione statisticamente significativo, in quanto costituito da pochi fogli limitrofi, situati in una zona litologicamente e morfologicamente uniforme, si possono comunque fare alcune considerazioni di carattere qualitativo.

La seguente tabella (tab. 4.2.1) sintetizza i dati raccolti: le righe contengono i fogli della CGI, le colonne riportano il numero delle unità sia geologiche che litologiche

contenute in ogni foglio e i valori cumulati di tali unità. La tabella risulta divisa in due settori evidenziati con una diversa colorazione. I fogli che ricadono nel primo settore (azzurro chiaro) contengono un numero esiguo di unità: da 3 a 6 per le geologiche, da 1 a 4 per le litologiche. Nel secondo settore (azzurro scuro) i fogli mostrano un numero di unità considerevolmente più alto: da 17 a 32 per le geologiche, da 9 a 15 per le litologiche.

foglio	unità geol.	unità litol.	unit.geol. cum.	unit. litol. cum.
65-Adria	3	1	3	1
63-Lignano	4	2	7	2
75-Mirandola	4	2	11	3
77-Comacchio	5	3	14	4
89-Ravenna	5	3	15	4
51-Venezia	4	3	19	5
52/53-S.Donà di P/foce Tagliamento	6	4	25	6
76-Ferrara	5	2	30	6
64-Rovigo	17	9	47	14
50-Padova	20	13	61	17
88-Imola	25	13	86	24
87-Bologna	32	15	108	25

Tabella 4.2.1: Sintesi dei dati raccolti.

Questo stacco è meglio evidenziato dal grafico seguente (fig. 4.2.1), in cui, all'altezza del foglio Rovigo, la curva cumulata delle unità geologiche si impenna sensibilmente, imitata più modestamente dalla cumulata delle unità litologiche.

Ciò può essere spiegato osservando la distribuzione spaziale dei fogli. Quelli che presentano un ridotto numero di unità si collocano nella Bassa pianura: zona pianeggiante, a scarsa elevazione (inferiore a 20 m s.l.m.) e acclività, dove affiorano essenzialmente i depositi alluvionali. Quelli che contengono un elevato numero di unità sono situati ai bordi della pianura, nella zona di raccordo con le catene dell'Appennino (Rovigo, Imola, Bologna) e delle Alpi (Padova), dove le formazioni del substrato emergono dalle coperture alluvionali. Queste sono anche le zone a maggior elevazione (fino a 100 m s.l.m.) ed acclività dell'intera area di studio.

Il grafico evidenzia, in sostanza, che la somma delle unità geologiche aumenta progressivamente con un andamento lineare costante, interrotto, all'altezza del foglio Rovigo, da una repentina variazione di pendenza, la quale conserva comunque uno sviluppo lineare, sebbene più acclive. La curva cumulata delle unità litologiche mima l'andamento della precedente, ma con una pendenza decisamente minore, sintomo di un aumento molto più esiguo del numero delle unità. Anche il salto all'altezza del foglio

Rovigo viene registrato in maniera più blanda e l'andamento originario della curva si ristabilisce quasi immediatamente, in corrispondenza del foglio Imola.

Valori cumulati delle unità cartografate

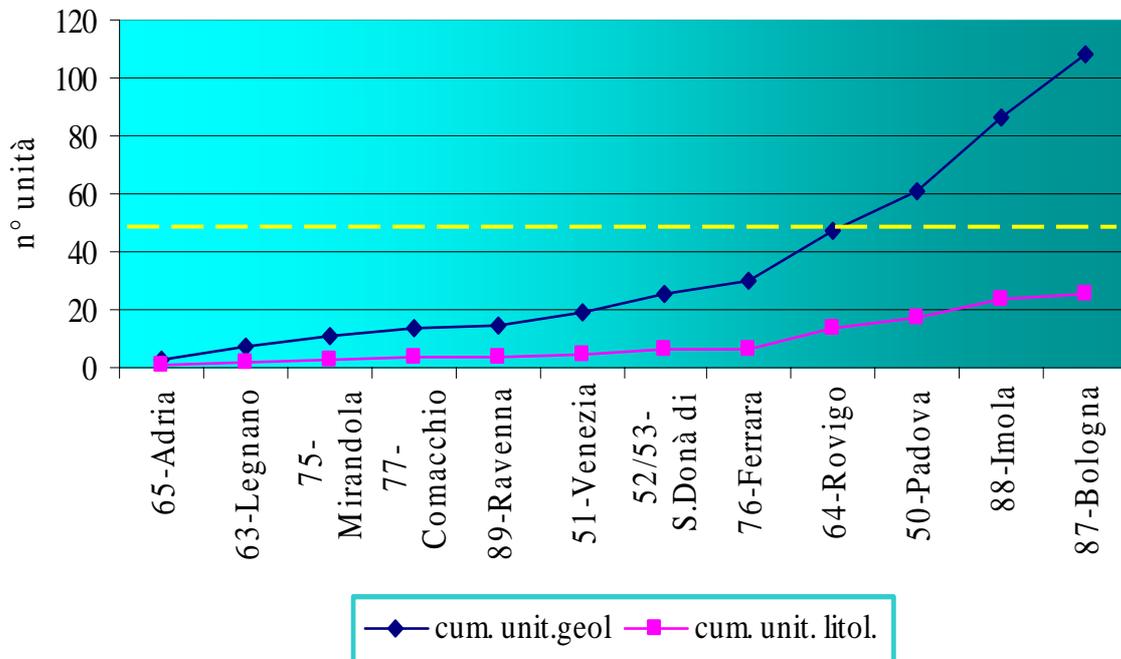


Figura 4.2.1: Valori cumulati delle unità cartografate. La tratteggiata gialla indica il numero totale di unità litologiche attualmente previste dalla legenda (47).

Da ciò si evince che il numero delle unità geologiche cresce più o meno considerevolmente all'aumentare del numero di fogli con andamento lineare; mentre il tasso di incremento delle unità litologiche è di un ordine di grandezza inferiore (per quanto riguarda il presente campione) e tenderà all'asintoto (47) all'aumentare del numero di fogli.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Da un semplice confronto fra la carta geologica originale e la carta litologica derivata si possono fare diverse considerazioni.

La prima evidenza che spicca è la differente varietà di colori che contraddistingue le due carte. La carta geologica è caratterizzata da una gamma di colori molto più assortita rispetto alla litologica, infatti nei 12 fogli che coprono l'area in esame le formazioni geologiche presenti sono 108, mentre le unità della carta litologica sono soltanto 25.

Se si estende il confronto all'intero territorio nazionale il divario nel contenuto di unità raggiunge addirittura due ordini di grandezza: le unità geologiche sono stimate infatti intorno a 5300 (Conte, 2005), a fronte delle 47 unità previste dall'attuale versione della legenda litologica. La notevole importanza dei vantaggi derivanti da questa drastica riduzione del numero di unità è lampante: basti pensare al sensibile snellimento del lavoro che potrà apportare una legenda unitaria in grado di sintetizzare ed uniformare la litologia del territorio nazionale in poco meno di 50 voci.

Un'altra evidenza che si riscontra è la differenza sostanziale tra le due legende. Ciascun foglio geologico possiede una propria legenda in cui ad ogni voce fa seguito una più o meno dettagliata descrizione dell'unità rappresentata. In queste descrizioni spesso vengono riportate informazioni aggiuntive volte a completare il quadro geologico d'insieme, estremamente utili per identificare formazioni presenti in più fogli che, non di rado, vengono chiamate con nomi differenti dai diversi autori.

La legenda di ciascun foglio della carta litologica, si compone invece di quella parte delle voci, previste dalla legenda unitaria, che rappresentano le formazioni affioranti in quel determinato foglio. Ognuna di queste voci comprende un nutrito numero di formazioni geologiche, litologicamente e geneticamente simili, ma sensibilmente diverse tra loro per contenuto fossilifero, meccanismi e ambienti deposizionali, storia evolutiva, struttura esterna e interna dell'ammasso, ecc.. Poiché le voci della legenda della carta litologica rappresentano insiemi eterogenei, è francamente impossibile integrarle con descrizioni dettagliate delle unità; pertanto tali informazioni vengono irrimediabilmente perse.

La perdita di informazioni, direttamente proporzionale alla riduzione del numero di unità, è il prevedibile rovescio della medaglia che tuttavia non compromette i risultati ottenuti, se si tiene in considerazione il fine ultimo del progetto. Difatti, generalmente, in ambiti strettamente applicativi, molte informazioni contenute nella carta geologica possono

risultare accessorie ma non indispensabili. Comunque, per quei casi in cui tali informazioni potrebbero essere di supporto, vengono in aiuto le classificazioni secondarie, appositamente preposte al recupero di notizie utili ai fini pratici.

Anche sui problemi riscontrati durante la realizzazione della carta litologica possono essere fatte diverse considerazioni. Le questioni emerse sono risolvibili o meno in funzione della loro differente origine.

Le incongruenze legate al margine interpretativo individuale nell'assegnare i codici sono state agevolmente superate stabilendo dei parametri di interpretazione mirati. Anche le anomalie prodotte dalla mancata o errata poligonizzazione di alcuni affioramenti potranno facilmente essere eliminate con una nuova digitalizzazione.

Altro esito hanno invece i problemi ereditati dalla cartografia geologica originale. Quelli generati dalla differenza del dettaglio nella rappresentazione delle unità potranno essere risolti adottando criteri generali per la ricollocazione delle formazioni in questione. Suddetti criteri, dettati dalle esigenze riscontrate nei 277 fogli in seguito alla copertura dell'intero territorio nazionale, rappresentano comunque un compromesso che è doveroso accettare in rispetto della continuità richiesta dai fini pratici del progetto. Senza soluzione appaiono invece le discrepanze connesse ai criteri soggettivi adottati dei numerosi rilevatori, che spesso al contatto tra due fogli danno interpretazioni diverse della stessa unità; oppure collocano il limite della medesima formazione in punti distanti tra loro, per cui lungo il bordo del foglio tale limite risulta dislocato senza alcuna spiegazione geologica. Questi tipi di incongruenze non sono di fatto eliminabili, in quanto si è scelto di utilizzare come unica fonte dei dati geologici la cartografia geologica ufficiale d'Italia, senza integrarla, anche ove necessario, con fonti alternative, quali ad esempio quelle provenienti dal progetto CARG (CARtografia Geologica).

L'analisi dei dubbi e dei problemi sorti *in itinere* durante la compilazione della carta litologica, arrivata oggi al completamento dell'Italia Settentrionale, servirà da base per valutare eventuali modifiche da apportare al fine di ottenere un prodotto quanto più funzionale.

Una volta ultimato, il progetto verrà presentato al 33° *International Geological Congress* (I.G.C.) che si terrà ad Oslo nel 2008. Le molteplici potenzialità applicative della carta litologica realizzata investiranno i campi più disparati che riguardano tutte le attività legate alla gestione del territorio, oggi quanto mai in rapida trasformazione. Ciò è stato reso possibile dall'informatizzazione della cartografia e dall'impiego dei *software* GIS, che

consentono di elaborare carte tematiche, a partire da una base vettorializzata, con risparmio enorme in termini di costi e di tempo, ottenendo risultati eccellenti.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ALBEROTANZA L., SERANDREI BARBERO R. & FAVERO V. (1977) – *I sedimenti olocenici della Laguna di Venezia (bacino settentrionale)*. **Bol. Soc. Geol. It.**, **96**, 243-269.

AMANTI M., BONTEMPO R., CARA P., CONTE G., DI BUCCI D., LEMBO P., PANTALEONE A., VENTURA R. (2002) – *Carta geologica d'Italia interattiva 1:100.000*. **Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio Geologico d'Italia, Servizio Sismico, ANAS**.

ARNAUD A., MASSER L., SALGE' F., SCHOLTEN H., (1993) – *GISDATA Research programme: European Science Foundation*. **GISDATA Newsletter**, n 1, 3.

BARTOLINI C., BERNINI M., CARLONI G.C., COSTANTINI A., FEDERICI P.R., GASPERI G., LAZZAROTTO A., MARCHETTI G., MAZZANTI R., PAPANI G., PRANZINI G., RAU A., SANDRELLI F., VERCESI P.L., CASTALDINI D. & FRANCAVILLA F. (1982) – *Carta neotettonica dell'Appennino settentrionale. Note illustrative*. **Bol. Soc. Geol. It.**, **101**, 523-549.

BARTOLINI C., CAPUTO R. & PIERI M. (1996) – *Pliocene-Quaternary sedimentation in the Northern Appennine Foredeep and related denudation*. **Geol. Mag.**, **133**, 255-273.

BIANCOTTI A. (1994) – *La carta geomorfologica della Pianura Padana*. *Risorsa Po: un bene da proteggere, un bene da valorizzare*. **Acc. Sc. Torino, Quaderni**, **1** (1995).

BOCCALETTI M., CALAMITA F., DEIANA G., GELATI R., MASSARI F., MORATTI G. & RICCI LUCCHI F. (1990) – *Migrating foredeep-thrust belt system in the Northern Appennines and Southern Alps*. **Paleogeogr., Paleoclimat., Paleoec.**, **77**, 3-14.

BONDESAN M. (1990a) – *Le zone umide salmastre dell'Emilia Romagna; aspetti geografici e geomorfologici*. In «**Aspetti naturalistici delle zone umide salmastre dell'Emilia Romagna**», **R.E.R.**, 23-56.

BONDESAN M. & GIOVANNINI A. (1994) – *Evoluzione geomorfologica della Pianura Costiera fra Codigoro e Comacchio (Ferrara)*. **Ann. Univ. Ferrara, n.s., Sez. Sc. Terra**, **5**, **3**, 27-38.

BONDESAN M., FAVERO V. & VINALS M.J. (1995b) – *New evidence on the evolution of the Po-delta coastal plain during the Holocene*. **Quaternary International**, **29/30**, 105-110.

BONDESAN M. & SIMEONI U. (1983) – *Dinamica ed analisi morfologica statistica dei litorali del delta del Po e alle foci dell'Adige e del Brenta*. **Mem. Soc. Geol. It.**, **36**, 1-48.

BOSELLINI A., MATTAVELLI L., MASETTI D. & SARTI M. (1981) – *la piattaforma di Bagnolo (sottosuolo padano) e il suo significato paleotettonico*. **Ann. Univ. Ferrara, sez.** **9**, **7**, 103-109.

CASTELLARIN A., CANTELLI L., FESCE A.M., MERCIER J.L., PICOTTI V., PINI G.A., PROSSER G. & SELLI L. (1992) – *Alpine compressional tectonics in the Southern Alps. Relationships with the N-Appennines*. **Ann. Tettonicae**, **6**, 62-94.

CASTELLARIN A., EVA C., GIGLIA G. & VAI G.B. (1985) – *Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano*. **Giorn. Geol.**, ser. **3**, **47**, 47-76.

CASTIGLIONI G.B., BONDESAN M. & ELMI C. (1990) - *Geomorphological mapping of the Po Plain (Italy) with an example in the area of Ravenna*. **Zeit. f. Geomorph. n. F. Supp.-Bd.** **80**, 35-44.

CASTIGLIONI G.B. (2001) – *Forme di accumulo glaciale*; Note Illustrative della Carta Geomorfologia della Pianura Padana. **Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat.** – **IV**, 45-54.

CASTIGLIONI G.B. & FAVERO V. (1987) – *Linee di costa antiche ai margini orientali della Laguna di Venezia e ai lati della foce attuale del Piave*. **Ist. Veneto Sc. Lett. Arti, Rapporti e Studi**, **10**, 17-30.

CAVAZZONI S. (1977) – *Variazioni batimetriche e idrografiche nella Laguna di Venezia intercorse tra il 1933 e il 1971*. **Ist. Veneto Sc. Lett. Arti, Rapporti e Studi**, **7**, 1-18.

CAVALLIN A., LAUZI S., MARCHETTI M. & PADOVAN N. (1987) – *Carta geomorfologica della pianura friulana ad Est del F. Tagliamento e a Sud dell'anfiteatro morenico*. **Atti della Riunione dei Ricercatori di Geologia, Politecnico di Milano**, **9.1-9.12**.

CAVALLIN A. & PIRINI RADRIZZANI C. (1987) – *Geodynamic evolution of Friuli Region (Northern sector of African promontory)*. **Mem. Soc. Geol. It.**, **40**, 345-354.

CIABATTI M. (1967) – *Ricerche sull'evoluzione del Delta Padano*. **Gior. Geol.**, Ser. **2**, **34**, 381-410.

COLOMBETTI A., PELLEGINI M., MANTOVANI UGUZZONI M.P. & RAGNI A. (1975) – *Problemi connessi alla ricerca e utilizzazione di acquiferi profondi nella Pianura Padana: un esempio a Nord di Modena*. **Atti del 3° Conv. Intern. Sulle Acque Sotterranee, Palermo 1-5 Nov. 1975**.

CONTE G. (2005) – *Utilizzo della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 e fini applicativi: la legenda litologica*. **Seminario "La pericolosità geologica connessa alla stabilità dei versanti: attività pregresse, aspetti metodologici e prospettive"**, Roma **07/06/2005**.

CONTI S. & GELMINI R. (1994) – *Miocene-Pliocene tectonic phases and migration of foredeep-thrusts belt system in the Northern Appennines*. **Mem. Soc. Geol. It.**, **48**, 261-274.

CREMONINI G. & RICCI LUCCHI F. (a cura di) (1982) – *Guida alla geologia del margine appenninico-padano*. **Guide geologiche regionali, Soc. Geol. It.**, **247pp**.

DELOGU D., ERCOLANI G., MORRONI E., PANTALEONE A., PANTALONI M., VENTURA R. (2004) – *Mapset repertorio completo della cartografia geologica italiana*. **Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio Geologico d'Italia**.

DESIO A. (1965) – *I rilievi isolati della pianura lombarda ed i movimenti tettonici del Quaternario*. **Rend. Ist. Lombardo, Acc. Sci. Lett.**, **99**, 881-894.

DONDI L. & D'ANDREA M.G. (1984) – *La Pianura Padana e Veneta dall'Oligocene superiore al Pleistocene*. **Giorn. Geol.**, ser. 3, **48**, 197-225.

FAVERO V. (1987) – *The venetian lagoon: the evolution and environment*. **13 th International Meeting on Organic Geochemistry, Venice, 25 th September 1987**, 1-19.

FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1978) – *La sedimentazione olocenica nella piana costiera tra Brenta e Adige*. **Mem. Soc. Geol. It.**, **19**, 337-343.

FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1980) – *Origine ed evoluzione della Laguna di Venezia – bacino meridionale*. **Lav. Soc. Venez. Sc. Nat.**, **5**, 49-71.

FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1983) – *Oscillazioni del livello del mare ed evoluzione paleoambientale della Laguna di Venezia nell'area compresa tra Torcello e il margine lagunare*. **Lav. Soc. Venez. Sc. Nat.**, **8**, 83-102.

GASPERI G., (2001) – *Schema strutturale dell'area, Note Illustrative della Carta Geomorfologia della Pianura Padana*. **Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat.** – **IV**, 45-54.

GASPERI G., CREMASCHI M., MANTOVANI UGUZZONI M.P., CARDARELLI A., CATTANI M. & LABATE D. (1989) – *Evoluzione plio-quadernaria del margine appenninico modenese e dell'antistante pianura. Note illustrative alla carta geologica*. **Mem. Soc. Geol. It.**, **39**, 1987, 375-431.

GASPERI G., GELATI R. & PAPANI G. (1986) – *Neogene evolution of the Northern Appendines on Po valley side*. **Gior. Geol.**, ser. 3, **48**, 187-195.

GASPERI G. & PELLEGINI M. (1968) – *Movimenti tettonici recenti nella zona di Mirandola (Pianura modenese)*. **Atti Soc. Nat. Mat. Di Modena**, **99**, 20-28.

GASPERI G. & PELLEGRINI M., (1985) – *Lineamenti geologici della Pianura Padana in riferimento all'area del delta del fiume Po*. **Atti Tavola Rotonda «Il Delta del Po»**, **Bologna 24.11.1982, Acc. Sc. Ist. Bologna**, 5-19.

GATTO P. & CARBOGNIN L. (1981) – *The lagoon of Venice: natural environmental trend and man-induced modification*. **Hydr. Sc. Boll.**, **26**, **4**, 379-391.

GRUPPO DI STUDIO SULLE FALDE ACQUIFERE PROFONDE DELLA PIANURA PADANA (1979) – *Lineamenti idrogeologici della Pianura Padana*. **C.N.R., I.R.S.A.; Quad. 28**, **2**, 124 pp.

IMBESI G. (1978) – *L'informatica nella gestione del territorio*. **Milano, Franco Angeli**.

MARCHETTI M. (1992) – *Geomorfologia ed evoluzione recente della Pianura Padana centrale a Nord del Fiume Po*. **Tesi di dottorato, Univ. Statale di Milano, Dipart. Scienze della Terra**, 164 pp (inedita).

MARCHETTI M. (2001) – *Forme e depositi fluviali, fluvioglaciali, lacustri*; Note Illustrative della Carta Geomorfologia della Pianura Padana. **Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat.** – IV, 45-54.

MARINELLI O.(1922-1948) – *Atlante dei tipi geografici*. 1^a e 2^a edizione. **I.G.M. Firenze, 80 tavole e Notazioni.**

MAROCCO R. (1991a) – *Evoluzione tardopleistocenica-olocenica del delta del F. Tagliamento delle lagune di Marano e Grato (Golfo di Trieste)*. **Il Quaternario**, 4, 223-232.

MASSARI F. (1990) – *The foredeep of Northern Adriatic margin: evidence of diachroneity in deformation of the Southern Alps*. **Riv. It. Paleont. Strat.**, 96, 351-380.

PETRUCCI F. & TAGLIAVINI S. (1969) – *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 61, «Cremona»*. **Servizio Geologico d'Italia, 44 pp.**

RICCI LUCCHI F. (1984) – *The foreland basin of the Northern Appennines and related clastic wedges: ad prelininary outline*. **Giorn. Geol., ser. 3, 48, 165-185.**

ROVARIS R. (1995) – *Il contributo della cartografia tematica computerizzata per lo studio, la rappresentazione l'analisi della fascia fluviale del Po*. **Acc. Sc. Torino, Quaderni 1, 287-300.**

SCROCCA D., CARMINATI E., DOGLIONI C. & MARCANTONI D. (2006) - *Arretramento dello slab adriatico e tettonica compressiva attiva nell'Appennino centro-settentrionale*. **Rend. Soc. Geol. It., 2, Nuova Serie, 00-00, 2 ff.**

VAI G.B. (1987) – *Migrazione complessa del sistema fronte deformativo-avanfossacercine periferico: il caso dell'Appennino settentrionale*. **Studi Geol. Camerti, Vol. spec. 1992/2, 171-185.**

VEGGIANI A. (1971) – *Inquadramento geologico dei sondaggi geotecnici nell'area antistante la costa adriatica ravennate*. **Atti 2° Conv. St. Probl. Geol. Appl., Genova, 1-7.**

VEGGIANI A. (1976) – *Le variazioni della linea di costa del Ravennate dall'Età Preromana al Medioevo*. **Corsi di cultura sull'arte ravennate e bizantina, Faenza, pp. 331-344.**

WEBGRAFIA

www.esriitalia.it

www.cesaregerbino.it. GERBINO C. (2003) - *Introduzione ai Geographic Information Systems (GIS)*.

www.gisitalia.it

www.hyperfvg.org

www.encarta.msn.com

7. RINGRAZIAMENTI

Arrivati alla fine del nostro percorso conoscitivo ci sentiamo in dovere di ringraziare le persone che ci è capitato di incontrare e con cui ci siamo confrontati durante tutto questo periodo.

Il primo grazie va al Professor Goffredo Mariotti, perché si è strenuamente battuto contro la burocrazia e i formalismi tipici delle istituzioni italiane, affinché questo tirocinio potesse realizzarsi. Un altro sentito grazie è per coloro che pazientemente ci hanno guidati e rassicurati, sempre disponibili ad ascoltare e risolvere dubbi e problemi, cioè la Dott.ssa Maria Pia Congi e il Dott. Carlo Cipolloni. Rivolghiamo un ringraziamento speciale al Dott. Giovanni Conte che non ha mai esitato nel metterci a disposizione le sue competenze.

Dulcis in fundo, ringraziamo il nostro tutor Dott. Alfredo Pantaleone, che non si è limitato a fornirci la sua esperienza umana e professionale, ma ci ha profondamente infuso nell'animo l'amore per la diffusione della cultura e l'intimo sentimento di condivisione che nasce dall'amicizia.

Grazie a tutti, con stima e affetto

Marida e Gianni.