

La cartografia geotematica

The geothematic maps

RIASSUNTO - La cartografia geotematica rappresenta lo sviluppo e l'approfondimento della cartografia geologica di base in campi specifici (geomorfologia, idrogeologia, geofisica, ecc.), con l'obiettivo di fornire ulteriori informazioni essenziali per la conoscenza delle condizioni generali di rischio e di vulnerabilità del territorio. La cartografia geotematica costituisce una tappa fondamentale per la conoscenza del territorio ed è propedeutica alle attività di programmazione in materia di pianificazione e gestione del suolo e del sottosuolo.

Parallelamente alla realizzazione della cartografia geologica, il Servizio Geologico d'Italia ha in corso di realizzazione una serie di carte geotematiche; le prime sperimentazioni possono essere ricondotte ai fogli di geomorfologia dinamica 376 Subiaco e 332 Scansano alla scala 1:50.000 finalizzati a rappresentare l'evoluzione geomorfologica di un determinato territorio sulla base del tipo di processo morfogenetico e della sua intensità. A queste hanno fatto seguito carte con geotematismo morfologico, idrogeologico, carte di pericolosità geologica, carte degli eventi alluvionali, carte di stabilità dei versanti, carte gravimetrico-strutturali e carte geominerarie.

Sempre nell'ambito del progetto CARG, un sostanziale passo in avanti si realizza con l'introduzione per la prima volta nella cartografia geologica ufficiale, nelle grandi aree di pianura, dei fogli geologici di sottosuolo che possono, forse, essere classificati come speciali tematismi. Queste carte, insieme allo sviluppo delle moderne tecniche di elaborazione dei dati e di modellazione geologica tridimensionale, hanno dato un ulteriore importante impulso alla conoscenza, descrizione e rappresentazione del sottosuolo e reso possibile la ricostruzione tridimensionale di dettaglio di aree sempre più vaste del territorio nazionale.

PAROLE CHIAVE: Cartografia geotematica, carta geomorfologica, carta gravimetrica, carta di stabilità dei versanti, modelli geologici tridimensionali

ABSTRACT - The geothematic maps represents the development and the follow up of the geological cartography on specific fields, with the objective to provide further information for the general conditions of risk and vulnerability of the territory. The geothematic mapping forms the basis for the knowledge of the territory and it is preliminary to planning and management activities on surface and subsurface.

In conjunction to the realization of the geologic map, the Geological Survey of Italy is realizing a series of geothematic maps; the first example is represented by the Dynamic geomorphology maps 376 Subiaco and 332 Scansano 1:50,000 scale, realized in the '80-'90.

In addition to these maps has been realized morphological and hydrogeological maps, geological hazard maps, flood events maps, landslides maps, gravimetric-structural maps and mining maps.

Within the CARG project, a substantial advance is represented by the realization of the large plains underground geological maps, that can be classified as special geological theme. The information contained in these maps, together with the development of the modern data elaboration techniques and of three-dimensional geologic modeling, given an important impulse to the knowledge, description and representation of the bedrock geology and the 3D reconstruction of vast areas of the national territory.

KEY WORDS: Thematic mapping, Geomorphological maps, gravimetric maps, hazard maps, 3D models

1. - LA CARTA GEOMORFOLOGICA: DALLE SPERIMENTAZIONI PRECEDENTI IL QUADERNO N. 4 ALLE SUE APPLICAZIONI

D'OREFICE M. (*), GRACIOTTI R. (*)

La cartografia geomorfologica è nata circa un secolo dopo l'avvento di quella geologica (FINKLE, 1988), le cui origini vengono fatte risalire al 1815, quando William Smith pubblicò la carta geologica dell'Inghilterra, Galles e parte della Scozia (SMITH, 1815). Il primo elaborato contenente informazioni geomorfologiche può esser, difatti, considerato quello di PASSARGE (1914), realizzato in Germania sulla carta topografica alla scala 1:25.000 "Stadtremba". Tuttavia, se si prescindere da questo tentativo iniziale, tra le prime carte basate su osservazioni geomorfologiche sistematiche di terreno, possono essere annoverate quelle effettuate intorno agli anni '50 in Russia e, soprattutto, in Polonia da KLIMASZEWSKI (1956, 1963), il quale, insieme a GALON (1963), ha avviato, a livello nazionale, un rilevamento geomorfologico alla scala 1:50.000 (DRAMIS *et alii*, 2011; D'OREFICE & GRACIOTTI, 2015).

Queste esperienze hanno creato i presupposti per una rapida diffusione della cartografia geomorfologica anche in altre nazioni europee ed extraeuropee. Tra le prime possiamo citare la Francia, la Germania, la Svizzera, l'Olanda, il Belgio, il Regno Unito, l'Ungheria e l'ex Cecoslovacchia, mentre tra le seconde vale la pena ricordare il Canada, il Brasile, la Colombia e il Giappone.

Analogamente alle altre nazioni europee, anche il nostro Paese ha mostrato uno specifico interesse per questo genere di cartografia; infatti, partendo dai primi elaborati, come ad esempio quelli redatti da PANIZZA (1966, 1968), SAURO (1973), TESSARI (1973), PANIZZA & MANTOVANI (1974), PANIZZA & CARTON (1975) e PELLEGRINI (1975), si è registrato un progressivo sviluppo della cartografia geomorfologica italiana, che ha visto coinvolti, in particolar modo, gruppi di ricerca universitari ed interuniversitari. A tal proposito è il caso di citare, a titolo indicativo, il Gruppo di studio delle università emiliane per la geomorfologia (GSUEG, 1976), il Gruppo ricerca geomorfologia del CNR (GRG - CNR, 1982), il Gruppo nazionale geografia fisica e geomorfologia (GNGFG - CNR, 1986, 1995).

In questo contesto, il Servizio Geologico d'Italia, cogliendo l'importanza soprattutto in campo applicativo di questo tipo di elaborati, ha ravvisato l'esigenza di realizzare, in qualità di Organo cartografico dello Stato, carte geomorfologiche ufficiali.

Le prime sperimentazioni di un certo significato, in quest'ambito, possono essere ricondotte ai fogli di geomorfologia dinamica 376 Subiaco (fig. 1) e 332 Scansano alla scala 1:50.000, editi rispettivamente negli anni '80 e '90 (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1981, 1995), finalizzati a rappresentare l'evoluzione geomorfologica di un determinato territorio sulla base del tipo di processo morfogenetico e della sua intensità (DAMIANI & PANNUZI, 1979).

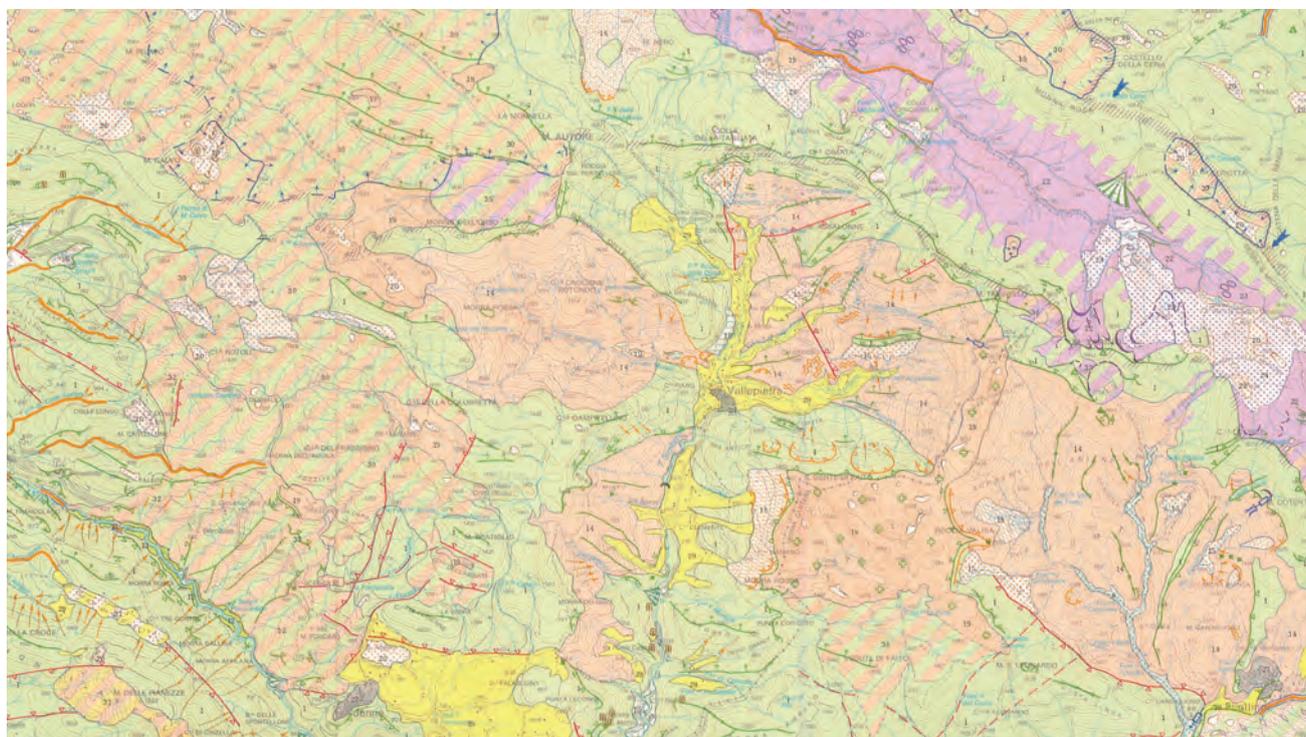


Fig. 1 - Stralcio del Foglio di geomorfologia dinamica 376 Subiaco alla scala 1:50.000.
- Detail from the Dynamic Geomorphological Sheet 376 Subiaco at 1:50,000 scale.

(*) Servizio Geologico d'Italia, ISPRA

È, comunque, con l'approvazione della Legge di difesa del suolo (L. 183/89) e con il successivo avvio del Progetto nazionale di cartografia geologica (Progetto CARG), coordinato dal Servizio Geologico d'Italia, che la cartografia geomorfologica ha assunto una determinata importanza a livello nazionale per la sua rilevante utilità scientifica e applicativa. Tutto ciò ha fornito un impulso non solo alla realizzazione, in alcune aree di particolare interesse del nostro territorio, di carte geomorfologiche ufficiali alla scala 1:50.000, ma anche alla produzione di una cartografia geomorfologica a livello regionale.

La produzione di una cartografia geomorfologica ufficiale non poteva, comunque, prendere avvio senza una normativa e dei criteri standard a livello nazionale. A tale scopo, tra il 1990 ed il 1994 è stato istituito presso il Servizio Geologico d'Italia un apposito Gruppo di lavoro con il compito di redigere delle linee guida al rilevamento della Carta geomorfologica d'Italia alla scala 1:50.000, finalizzate alla definizione di criteri di rilevamento e rappresentazione cartografica unitari a carattere nazionale e alla produzione di una cartografia di base utile anche per scopi applicativi. Il Gruppo di lavoro, costituito da docenti universitari afferenti all'allora Gruppo nazionale geografia fisica e geomorfologia (GNGFG) del CNR e dai geomorfologi del Servizio Geologico d'Italia (ed in particolare del Settore

di geomorfologia costituito nei primi anni '90), dopo aver esaminato le numerose pubblicazioni riguardanti la cartografia geomorfologica nazionale e internazionale (in particolare: PANIZZA, 1972; SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1981; REGIONE VENETO, 1989; GNGFG – CNR 1986, 1995; BASHENINA *et alii*, 1968; DEMEK, 1972; DEMEK & EMBLETON, 1978; TRICART, 1972; VERSTAPPEN & VAN ZUIDAM, 1968) ed aver fissato i criteri cartografici generali e di rilevamento, ha elaborato uno schema di legenda applicabile sull'intero territorio italiano. Nella stesura della legenda, comprensiva di circa 350 simboli, si è cercato di seguire dei principi rigorosi di rappresentazione dei dati, al fine di rendere chiaro il contenuto informativo di ciascun elemento simbolico.

I risultati del lavoro svolto, dopo essere stati sottoposti a test in aree campione e alla valutazione critica della comunità scientifica, sono stati pubblicati nel 1994 sul Quaderno 4, serie III del Servizio Geologico d'Italia (BRANCACCIO *et alii*, 1994) (fig. 2). Questa Guida al rilevamento geomorfologico, di seguito citata con la denominazione di "Linee guida al rilevamento", costituisce la base di partenza per la realizzazione di carte geomorfologiche ufficiali alla scala 1:50.000, prodotte dalla generalizzazione degli elaborati originali di terreno rilevati alla scala 1:25.000 o 1:10.000⁽¹⁾. Successo

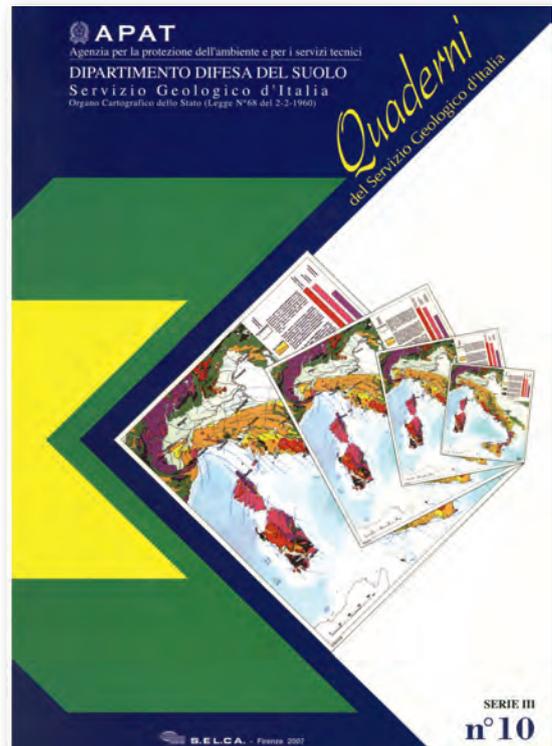


Fig. 2 - Frontespizio del Quaderno 4 (Carta geomorfologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Guida al rilevamento; BRANCACCIO *et alii*, 1994) e del Quaderno 10, (Carta geomorfologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Guida alla rappresentazione cartografica; COSCI *et alii*, 2007), serie III del Servizio Geologico d'Italia.
– Front cover of the Quaderno 4 and of the Quaderno 10, III series of the Geological Survey of Italy.

⁽¹⁾ A oltre un ventennio dalla pubblicazione delle Linee guida al rilevamento è sorta l'esigenza di un loro aggiornamento sia nei riguardi dei contenuti sia in merito ai criteri di rappresentazione dei dati. A tal fine, nel 2014 è stato istituito un nuovo Gruppo di lavoro congiunto tra ISPRA e AIGeo (Associazione italiana di geografia fisica e geomorfologia), finalizzato, appunto, alla revisione delle linee guida per la cartografia geomorfologica nazionale.

sivamente l'iter normativo è stato completato con la pubblicazione della Guida alla rappresentazione cartografica (COSCI *et alii*, 2007), in cui sono indicati i criteri e gli standard, omogenei a livello nazionale, necessari per la stampa della Carta geomorfologica d'Italia alla scala 1:50.000, affiancati da una dettagliata libreria dei simboli (fig. 2).

Dopo la pubblicazione delle Linee guida al rilevamento il Servizio Geologico d'Italia, nell'ambito del Progetto CARG, ha avviato, sia direttamente sia in convenzione con alcune regioni, la realizzazione di sei fogli geomorfologici in aree del territorio nazionale reputate significative. Attualmente è in corso il rilevamento, da parte del Servizio Geologico d'Italia, di un settimo foglio geomorfologico (Foglio 353 Montalto di Castro).

Di seguito saranno sinteticamente descritti i principali aspetti geomorfologici delle aree ricadenti nei quattro fogli sinora stampati (Fogli 063 Belluno, 389 Anagni, 367 Tagliacozzo, 289 Città di Castello), nel Foglio 316-317-328-329 Isola d'Elba (f.t. in tasca di copertina), e nel Foglio 624 Monte Etna, in preparazione.

1.1. - FOGLIO BELLUNO

Il Foglio 063 Belluno (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2000; PELLEGRINI, 2000) costituisce la prima carta geomorfologica alla scala 1:50.000 realizzata, nell'ambito del Progetto CARG, dal Servizio Geologico d'Italia in convenzione con la Regione Veneto (fig. 3).

L'area ricadente nel foglio comprende l'ampio bacino del Vallone Bellunese, ad andamento NE-SO, impostatosi sulla grande struttura sinclinale di Belluno, con al nucleo sedimenti terziari prevalentemente terrigeni. Il versante settentrionale di questo Vallone è formato dagli aspri rilievi carbonatici delle Dolomiti Bellunesi, costituiti principalmente da una spessa sequenza di dolomie triassiche di piattaforma, seguita da calcari pelagici del Giurassico inferiore; quello meridionale, invece, più dolce ed ondulato, è modellato sulla dorsale calcarea cretacea delle Prealpi Bellunesi. Il fondo di questa vasta depressione strutturale è colmato da depositi continentali quaternari e attraversato dal fiume Piave, la cui valle, larga e svasata, occupa buona parte del foglio.

Dal punto di vista geomorfologico quest'area riveste un particolare significato, poiché durante l'ultimo periodo glaciale è stata interessata più volte dal passaggio del grande ghiacciaio del Piave, che ha profondamente modificato la forma delle valli e abbandonato grandi quantità di depositi di origine glaciale sui versanti e nei fondovalle. La maggior parte di questi depositi, riconoscibili sia come cordoni morenici di sponda sia come depositi di fondo, di ablazione e di contatto glaciale, sono stati messi in posto durante l'ultima grande espansione glaciale würmiana.

Il ritiro dei ghiacciai würmiani ha favorito l'innescò di grandi frane, ora per lo più inattive, caratterizzate da estesi accumuli a grandi blocchi. Considerata, comun-

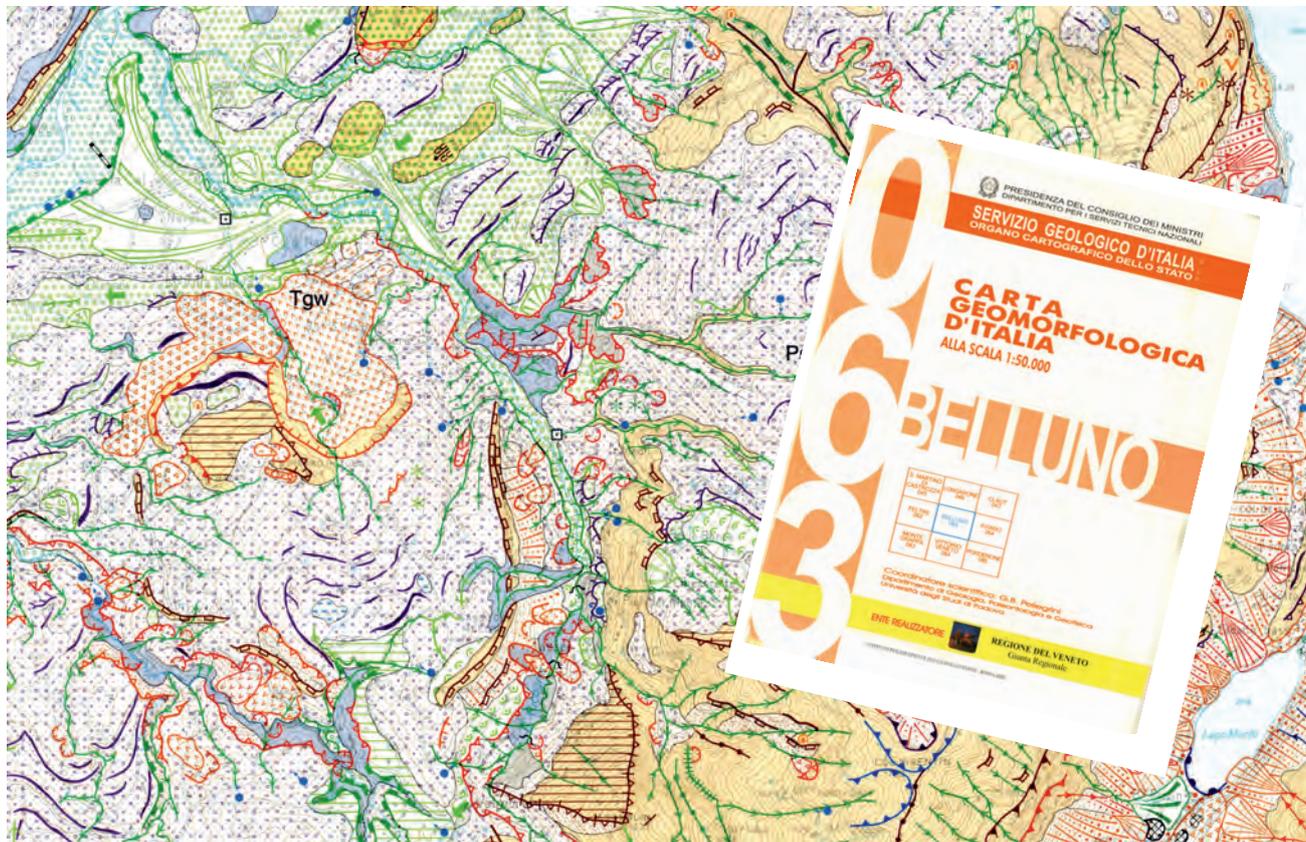


Fig. 3 - Stralcio del Foglio geomorfologico 063 Belluno.
- Detail from the Geomorphological Sheet 063 Belluno at 1:50,000 scale.

que, l'elevata energia del rilievo dell'area, numerosi sono anche i fenomeni franosi attivi, localizzati prevalentemente nel versante meridionale del Vallone Bellunese.

Anche il processo fluviale assume un'indubbia rilevanza all'interno del foglio, raggiungendo la sua massima azione morfogenetica lungo il fondovalle del Piave, dove convergono, con il loro apporto solido, la maggior parte dei corsi d'acqua e dove, per lunghi tratti, sono presenti, a varie quote, numerose superfici terrazzate ripartite sino ad un massimo di sei ordini.

Il processo crionivale, molto intenso in passato, come testimoniano sia le forme erosive (nicchie di nivazione) e sia i depositi crioclastici affioranti nelle zone di alta montagna, è attualmente confinato alle quote più elevate, caratterizzate da temperature invernali piuttosto basse.

Data la diffusione delle formazioni carbonatiche mesozoiche (che vanno dai Calcari Grigi alla Scaglia), il processo carsico si manifesta ampiamente con forme di erosione epigea, come doline e *karren*, e forme ipogee quali inghiottitoi e cavità a sviluppo verticale ed orizzontale.

1.2. - FOGLIO ANAGNI

Il Foglio geomorfologico 389 Anagni alla scala 1:50.000 è stato realizzato dal Servizio Geologico d'Italia in convenzione con la Regione Lazio (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2005; GENTILI & LUPIA PALMIERI, 2005) (fig. 4).

Il foglio comprende una porzione del pre-Appennino centrale che racchiude il tratto centro-settentrionale della vasta depressione tettonica della Valle Latina, attraversata dal fiume Sacco con direzione di scorri-

mento NO-SE. Questa valle, caratterizzata dalla presenza, sul fondo, di depositi fluviali terrazzati ed estesi corpi travertinosi del Pleistocene-Olocene, è delimitata a SO dai rilievi dei M.ti Lepini e a NE dalla dorsale dei M.ti Ernici. Entrambe queste catene montuose sono costituite da litotipi calcarei, calcarenitici e dolomitici, in facies di piattaforma carbonatica, ben stratificati e debolmente piegati o basculati, di età cretaccio-miocenica. La fascia di raccordo tra i rilievi carbonatici e il fondovalle è rappresentata da una zona collinare costituita da unità torbiditiche pelitico-arenacee, del tortoniano-messiniano, blandamente piegate e ulteriormente disarticolate in blocchi monoclinali da faglie dirette.

Per quanto concerne gli aspetti geomorfologici salienti, il foglio è contraddistinto dalla presenza di numerosissime forme legate alla dinamica gravitativa di versante; all'interno del suo territorio sono stati, infatti, rilevati più di 700 fenomeni gravitativi, includendo tra questi anche le superfici dissestate da soliflusso e alcune deformazioni gravitative profonde di versante. Tali fenomeni sono concentrati soprattutto nella fascia collinare, che si estende ai piedi dei M.ti Lepini, dove i litotipi torbiditici affioranti sono di natura prevalentemente pelitica. A quello proposito, particolarmente interessante è uno dei quadri a margine del foglio, che evidenzia la pericolosità geomorfologica (distinta in cinque classi principali) per movimenti di massa di una zona campione.

Degne di nota sono, inoltre, le forme originate dal processo fluvio-denudazionale, da mettere soprattutto in relazione con la dinamica fluviale del fiume Sacco e dei suoi principali affluenti, e quelle prodotte sui rilievi carbonatici dal processo carsico.

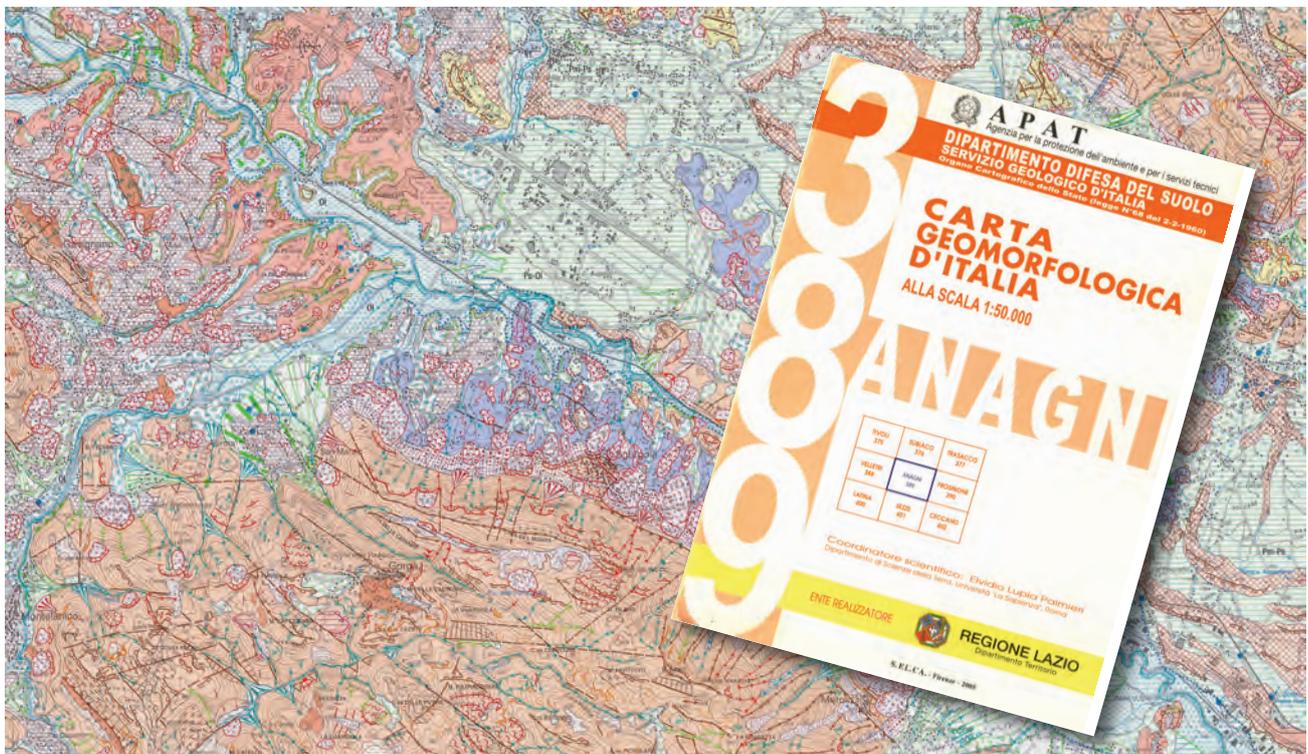


Fig. 4 - Stralcio del Foglio geomorfologico 389 Anagni.
- Detail from the Geomorphological Sheet 389 Anagni at 1:50,000 scale.

1.3. - FOGLIO TAGLIACOZZO

Il Foglio 367 Tagliacozzo alla scala 1:50.000 (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2008; CHIARINI *et alii*, 2008) è stato interamente realizzato dai geomorfologi del Servizio Geologico d'Italia (fig. 5).

Il territorio appartenente a questo foglio, compreso tra le province di L'Aquila, Rieti e Roma, è prevalentemente montuoso; infatti, l'area è interessata dalle propaggini orientali dei M.ti Sabini, da quelle nord-occidentali dei M.ti Simbruini, dai M.ti Carscolani e da un settore limitato della catena del monte Velino. Il foglio include, in maggior parte, i bacini idrografici dei fiumi Salto e Turano e in misura ridotta i bacini dei fiumi Aniene e Liri.

L'area è principalmente caratterizzata dalla presenza di una successione carbonatica cretaco-miocenica di piattaforma, seguita da depositi terrigeni alto-miocenici (marne a *Orbulina* e torbiditi silicoclastiche) e da depositi continentali e vulcanici quaternari (in buona parte d'origine locale).

Il paesaggio fisico dell'area, fortemente influenzato da una tettonica compressiva, cui si è andata successivamente sovrapponendo una tettonica distensiva, è generalmente contraddistinto da uno stile ad ampie depressioni, alternate e parallele alle principali strutture monocliniche, a direzione prevalentemente appenninica, appartenenti ai rilievi carbonatici sopra menzionati.

La grande diffusione di rocce carsogene, intensamente fratturate, ha favorito lo sviluppo del processo morfogenetico carsico, che si manifesta con la formazione di estese depressioni endoreiche, dalla caratteristica forma a conca allungata, e con una grande varietà di forme epigee (doline, docce, solchi, vaschette, ecc.) ed ipogee (pozzi, cavità, condotte, ecc.).

Il processo fluvio-denudazionale si esplica principalmente sulle formazioni terrigene, dove genera valli principali e vallecole secondarie, forme di versante connesse al dilavamento superficiale e forme di erosione e di accumulo tipiche della dinamica fluviale.

Di particolare interesse geomorfologico sono le forme e i sedimenti di origine glaciale che si rinvengono sulla dorsale monte Velino-Montagna della Duchessa, rappresentati da circhi, creste, valli dal tipico profilo ad "U" e da depositi morenici.

1.4. - FOGLIO CITTÀ DI CASTELLO

Il Foglio 289 Città di Castello è stato realizzato dal Servizio Geologico d'Italia in convenzione con la Regione Umbria (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2011; CATTUTO, 2011) (fig. 6).

L'area presa in esame, ricadente in gran parte nella provincia di Perugia ed in misura minore in quella di Arezzo, comprende un vasto settore della valle del fiume Tevere, nota come alta Valtiberina. Essa è caratterizzata da un ampio fondovalle, con valori altimetrici compresi tra i 250 e i 350 m s.l.m., racchiuso tra un versante occidentale che supera i 1000 m di quota s.l.m. ed un versante orientale che raggiunge una quota massima di 978 s.l.m.

Dal punto di vista geologico il foglio è contraddistinto dalla presenza di quattro domini (Dominio ligure esterno, Dominio toscano, Dominio umbro e Dominio umbro-romagnolo), costituiti da sedimenti marini, ai quali seguono depositi continentali quaternari. Particolarmente interessante è l'unità Ofiolitica dei Monti Rognosi, appartenente al Dominio ligure esterno, che affiora nella parte nord-occidentale del foglio.

L'orografia generale è strettamente controllata dall'assetto tettonico-strutturale locale, che ha determinato la formazione delle ampie conche intermontane di Sansepolcro e di Città di Castello, strettamente connesse tra loro. Tale assetto ha anche condizionato l'andamento del reticolo idrografico, essenzialmente caratterizzato da un *pattern* subangolare.

Il territorio è modellato principalmente dall'azione operata dalle acque dilavanti, che generano una grande varietà di forme di erosione e di accumulo, tipiche della morfogenesi fluvio-denudazionale, come la vasta piana alluvionale del fiume Tevere, gli ampi conoidi di deiezione, presenti soprattutto in sinistra idrografica del Tevere, le numerose vallecole a "V", i solchi di ruscellamento nei litotipi flyschoidi e le vistose forme erosive simili ai calanchi (pseudocalanchi).

Anche le forme di versante dovute alla gravità sono molto diffuse; in particolare le frane di scorrimento costituiscono la tipologia più frequente nell'ambito del foglio, mentre meno numerose sono le frane di crollo, che



Fig. 5 - Immagini di due località situate nel Foglio geomorfologico 367 Tagliacozzo: a) Le Grotte (Comune di Paganico). Torrione roccioso isolato costituito da breccie clinostratificate di versante del monte Cervia. b) Valle della Dogana. Esteso campo di doline.
- Images of two localities within Geomorphological sheet 367 Tagliacozzo: a) Le Grotte (Municipality of Paganico). Isolated rock peak built by clinostratified scree-breccias. b) Valle della Dogana. Large field of dolines.

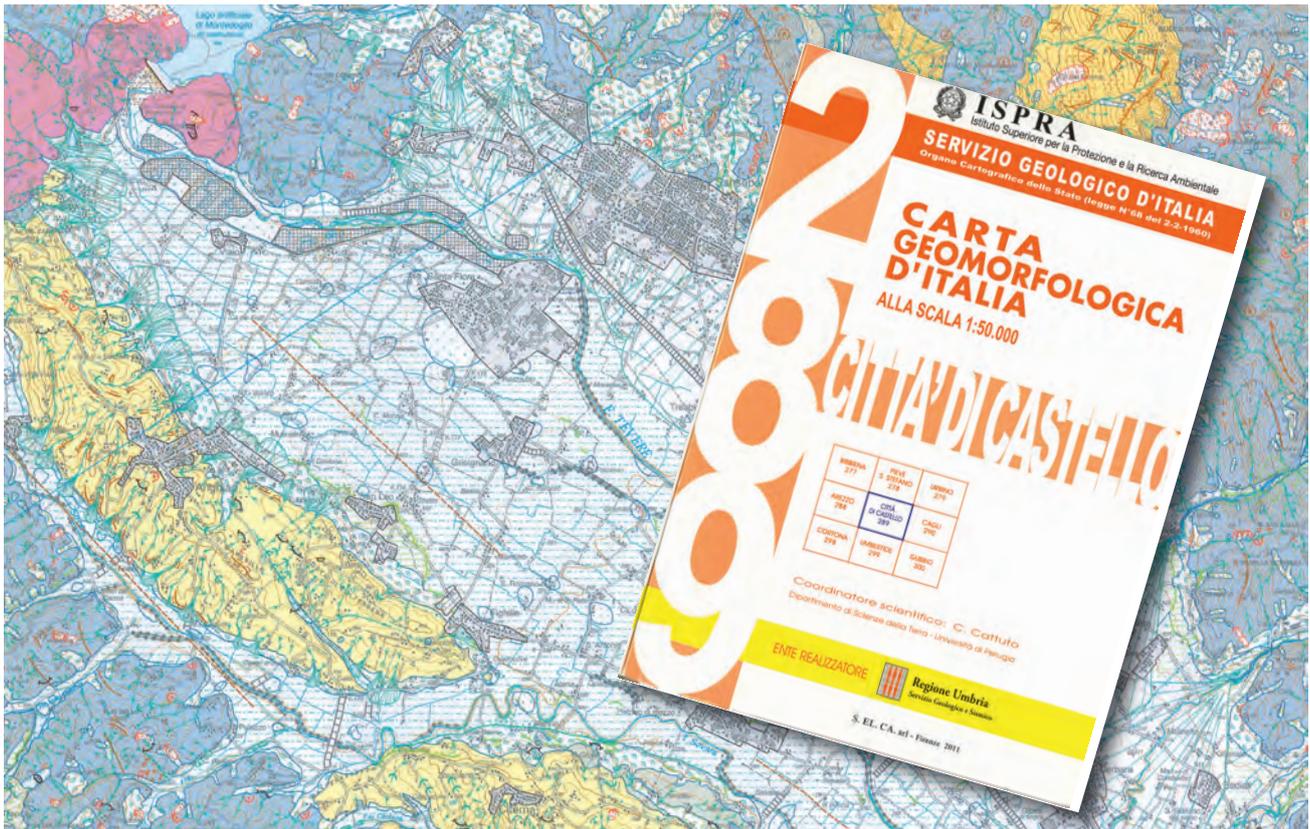


Fig. 6 - Stralcio del Foglio geomorfologico 289 Città di Castello.
 - Detail from the Geomorphological Sheet 289 Città di Castello at 1:50,000 scale.

si manifestano in corrispondenza di ammassi rocciosi intensamente fratturati, e le frane di colamento, che interessano sia i litotipi del substrato ad elevato contenuto pelitico sia i depositi superficiali.

1.5. - FOGLIO ISOLA D'ELBA

Il Foglio 316-317-328-329 Isola d'Elba, pubblicato nel 2016 su *web*, è stato realizzato dal Servizio Geologico d'Italia, (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, in stampa - a; D'OREFICE & GRACIOTTI, in stampa).

L'isola d'Elba, seppur di estensione limitata (224 km²), è contraddistinta da una estrema varietà geologica (rocce ignee, metamorfiche e sedimentarie) e da una complessità tettonico-strutturale rilevante. Il più recente modello geologico-strutturale prevede, infatti, la presenza, nel settore centro-orientale dell'isola, di nove unità tettoniche (BORTOLOTTI *et alii*, 2001), con numerose sottounità, che contengono successioni deposte in due differenti domini paleogeografici: Dominio toscano e Dominio ligure.

L'Elba, per il suo sviluppo areale, il particolare assetto morfostrutturale e la varietà litologica, è anche l'isola dell'Arcipelago Toscano con la maggiore complessità geomorfologica. Essa, infatti, presenta elementi di estremo interesse, con una vasta eterogeneità di forme, risultanti dall'interazione tra l'ampia diversità dei litotipi e l'azione morfogenetica dei numerosi processi che hanno modellato e che continuano tuttora a mo-

dellare il paesaggio attraverso peculiari forme d'erosione e di accumulo. Il processo morfogenetico che si manifesta più intensamente, con una molteplicità di forme, è sicuramente quello marino-costiero con morfotipi quali falesie, spianate d'abrasione marina, spiagge, lagune, ecc. In virtù dell'elevata energia del rilievo, che caratterizza la maggior parte dell'isola, è ben sviluppata anche la dinamica gravitativa di versante (rappresentata da scarpate di degradazione, frane di crollo e di scorrimento, *debris flow*, detriti di versante, ecc.) e quella fluvio-denudazionale (con valli, vallecole, forre, creste, piane alluvionali, depositi colluviali, ecc.).

In corrispondenza del plutone monzogranitico del monte Capanne sono frequenti i processi d'alterazione meteorica, che hanno generato forme d'erosione quali *tors*, sculture alveolari, tafoni e spesse coltri d'alterazione.

Molto interessanti sono, infine, i depositi eolici antichi, formatisi nel corso di periodi di basso stazionamento del livello marino, avvenuti durante l'ultimo glaciale (fig. 7).

1.6. - FOGLIO MONTE ETNA

Il Foglio 624 Monte Etna, attualmente in preparazione, sarà realizzato dal Servizio Geologico d'Italia in convenzione con la Regione Siciliana (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, in stampa - b; AURELI, in stampa).

Il territorio preso in esame comprende il fianco occidentale del monte Etna (fig. 8), che con i suoi prodotti



Fig. 7 – Depositi eolici di Cala Mandriola con stratificazione incrociata a grande scala di tipo piana-tabulare.
- *Planar cross-bedded eolian deposits of Cala Mandriola.*

vulcanici occupa l'intera zona orientale del foglio, ed una parte di terreni sedimentari appartenenti alle unità tettoniche sicilidi (costituite prevalentemente dalle formazioni del flysch numidico e delle argille varicolori) ed ai depositi marini neogenici, che ricadono nella parte occidentale del foglio. Questi due settori, nettamente

distinti dal punto di vista geolitologico e geomorfologico, sono separati dal fiume Simeto che, con tutti i suoi depositi, attraversa l'area in direzione meridiana, incidendo la porzione terminale delle colate laviche basaltiche provenienti dall'Etna.

L'importanza geomorfologica che riveste questo foglio è abbastanza evidente; il Monte Etna, con una superficie di circa 1.600 km² ed una quota massima di circa 3.350 m s.l.m. rappresenta, infatti, il maggior vulcano attivo d'Europa. L'edificio vulcanico è costituito da una successione eterogenea, sia nelle forme sia nei volumi, di colate laviche intercalate a livelli discontinui di colate piroclastiche e vulcanoclastiti. Naturalmente, in un tale ambito le forme vulcaniche sono ben rappresentate e costituite principalmente da coni avventizi (alti anche più di 200 m), colate laviche di vario tipo (scoriacee, a corde e a fessurazione prismatica), *labars*, tunnel di lava, grotte (alcune molto famose dal punto di vista turistico), canali e gallerie di scorrimento.

Nel settore ove affiorano i terreni sedimentari, il paesaggio collinare è, invece, interessato da numerose frane e costellato da molti banconi quarzoarenitici, fratturati e tettonizzati, che emergono per erosione selettiva dalla frazione pelitica del flysch numidico, generando delle spettacolari linee di cresta e delle brusche rotture di pendio.



Fig. 8 - Vista panoramica del Monte Etna da Sud-Ovest.
- *Panoramic view of Etna mountain from South-West.*

2 - LA CARTA IDROGEOLOGICA D'ITALIA, UNO STRUMENTO IN EVOLUZIONE

MARTARELLI L. (*)

La realizzazione di cartografie idrogeologiche in Italia ha una buona distribuzione territoriale (e.g., GIANNOTTI *et alii*, 1970; CIVITA *et alii*, 1973; PIETRACAPRINA *et alii*, 1980; CELICO, 1983; BONI *et alii*, 1984; BONI *et alii*, 1986; CENTAMORE *et alii*, 1991; BONI *et alii*, 1995; CALVI *et alii*, 2000; CIVITA & DE MAIO, 2002; BOSCHERINI *et alii*, 2005; CELICO *et alii*, 2005; CIVITA *et alii*, 2005) e riguarda la realizzazione di prodotti per differenti scopi e a differente scala di riferimento. I criteri cartografici di riferimento sono anche tra loro molto differenti, probabilmente anche per motivi legati alle differenze dei contesti geologici ed idrogeologici delle regioni italiane.

La scala di queste cartografie è variabile da circa 1:1.000.000 a 1:500.000 per tematiche concernenti il territorio nazionale, da 1:500.000 a 1:200.000 per un inquadramento regionale, da 1:200.000 a 1:100.000 per la descrizione di unità e sistemi idrogeologici a maggiore di 1:100.000 per studi operativi di gestione delle risorse idriche.

A partire dagli anni 80, la necessità di realizzare un progetto cartografico a livello nazionale ha aperto un tavolo di confronto per redigere linee guida di riferimento per la preparazione di una cartografia idrogeologica mediante la definizione dei criteri per realizzare sia una Legenda sia una Carta di buona qualità, cercando di risolvere la mancanza di uniformità dei criteri cartografici fino allora adottati nei diversi ambiti geologico-idrogeologici e climatici dei differenti distretti italiani.

Alcuni preliminari tentativi a carattere sperimentale di produrre cartografie idrogeologiche ufficiali con il coordinamento del Servizio Geologico d'Italia, furono realizzati combinando elementi tematici idrogeologici e contenuti geologici nelle aree dei due fogli, 611 Mistretta (Regione Sicilia; SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1973) e, 291 Pergola (Regione Marche; SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1976). Questi fogli idrogeologici consistono essenzialmente in una riclassificazione delle unità geologiche ai fini idrogeologici in classi di permeabilità (per tipo e grado) con (vedi Foglio 611 Mistretta) o addirittura senza (vedi Foglio 291 Pergola) considerazioni riguardo alla loro importanza idrogeologica e comunque senza considerare l'effettiva presenza di risorsa idrica nei vari corpi potenzialmente distinguibili (fig. 9). Ovviamente le informazioni riportate in queste Carte sono molto generiche, non immediatamente leggibili e sono chiaramente interpretabili solo da uno specialista idrogeologo.

Nel 1989, quando è iniziato il nuovo Progetto di cartografia geologica e geotematica d'Italia (Progetto CARG), ancora non esistevano linee guida condivise per la realizzazione della Carta Idrogeologica d'Italia, ma solo una raccolta di riferimenti normativi esistenti (JACOBACCI *et alii*, 1985).

Sempre prima della ratificazione di linee guida ufficiali è stata realizzata la Carta Idrogeologica d'Italia del Foglio 389 Anagni (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1993; fig. 10), che ha di caratteristico l'adozione di una Legenda dei complessi idrogeologici basata sui valori dell'Infiltrazione efficace calcolata su basi quantitative e che può considerarsi un prototipo sperimentale delle linee guida ufficiali non ancora pubblicate, ma in discussione. Questo foglio, pur mancando di sezioni idrogeologiche verticali, ha senz'altro una leggibilità ottimale e la sua strutturazione cartografica è finalizzata ad una immediata evidenziazione delle caratteristiche idrogeologiche salienti dell'area ed alla possibilità di avere un quadro il più esaustivo possibile della potenzialità e della distribuzione della risorsa idrica sotterranea. In seguito, sarà deciso di adottare per la Legenda dei complessi idrogeologici il grado di permeabilità relativa dei terreni, in quanto generalmente applicabile alla maggior parte delle situazioni idrogeologiche italiane, e rappresentare informazioni a carattere più schiettamente quantitativo su carte complementari.

Le prime linee guida ufficiali per il rilevamento e la rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000 sono state presentate dal Servizio Geologico d'Italia nel 1995. Esse sono pubblicate nella collana "SGN Quaderni, serie III, n. 5" (MARI *et alii*, 1995) e constano nella definizione di una Legenda di riferimento e di alcune specifiche tecniche volte all'ottenimento di un'ottimale uniformità di realizzazione della raccolta dati e della rappresentazione cartografica degli elementi idrogeologici. Questa Guida tratta degli aspetti cartografici riguardanti, tra gli altri, l'organizzazione della Legenda dei complessi idrogeologici, della legenda dei simboli concernenti l'idrologia superficiale, l'idrologia sotterranea e gli altri elementi d'interesse, delle mappe complementari da realizzare, delle sezioni idrogeologiche verticali. Si fa notare anche che tali linee guida sono state realizzate considerando la realizzazione di cartografie manuali e non ancora assistite da computer.

Queste linee guida per la cartografia idrogeologica d'Italia seguono le specifiche generali dell'*International Legend for Hydrogeological Maps*, a piccola scala (KARRENBERG *et alii*, 1974; IAH *et alii*, 1983; STRUCKMEIER & MARGAT, 1995), sebbene siano stati adottati criteri specifici alla scala di rappresentazione di maggior dettaglio ed alle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche peculiari del territorio italiano.

Nel 2008, il Servizio Geologico d'Italia ha pubblicato (SCALISE & MARTARELLI, 2008) i risultati ottenuti dalla realizzazione di verifiche sperimentali delle linee guida per la cartografia idrogeologica in alcuni contesti idrogeologici del territorio italiano (i.e., aree carbonatiche e carsiche, depositi vulcanici, piane alluvionali) caratterizzati da particolari elementi d'interesse riguardo alle risorse idriche sotterranee ed alle connesse problematiche ambientali. Di conseguenza, sono state proposte, sebbene formalmente non an-

(*) Servizio Geologico d'Italia, ISPRA

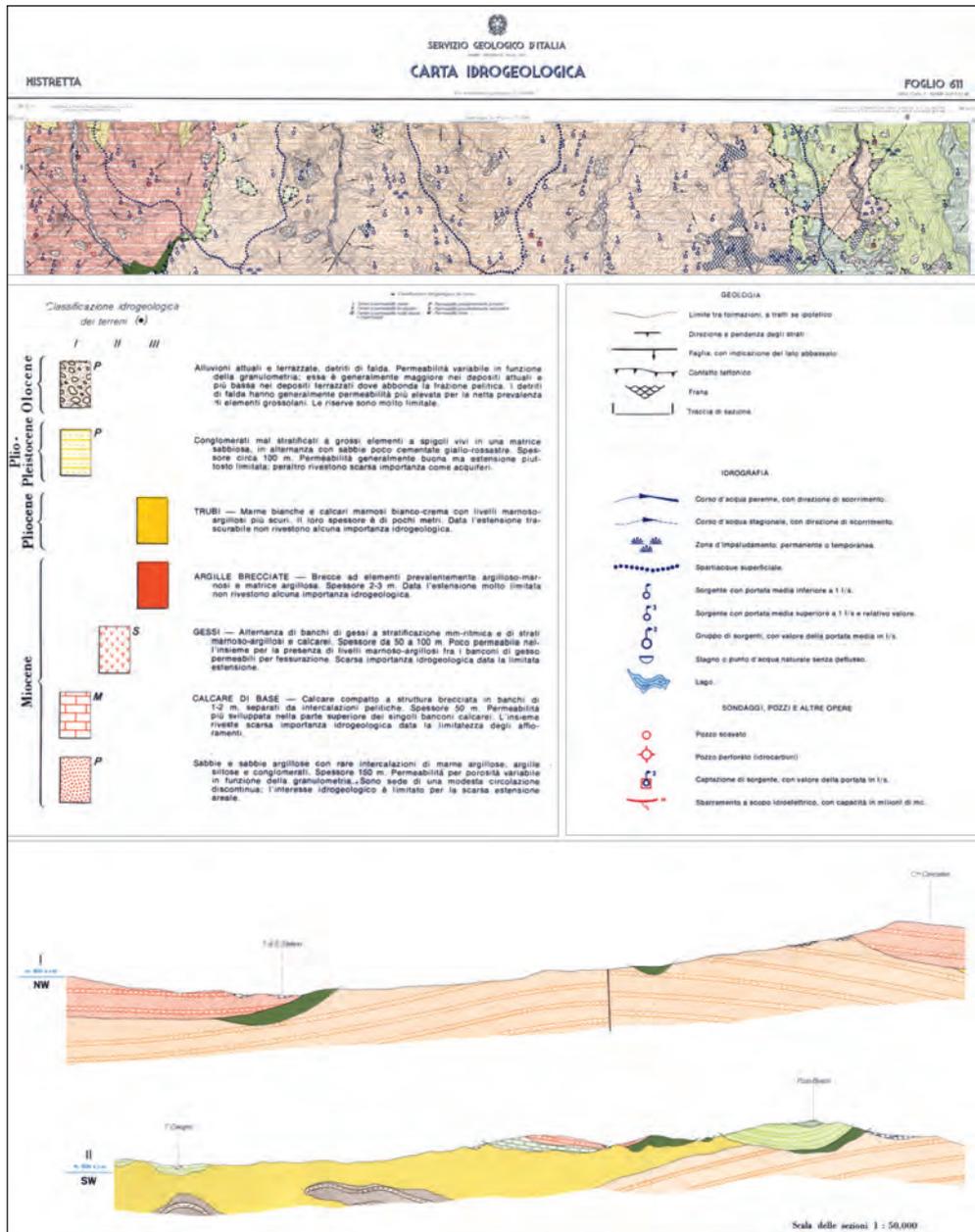


Fig. 9 – Stralci della Carta Idrogeologica del Foglio n. 611 Mistretta (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1973). La cartografia consiste essenzialmente in una riclassificazione delle unità geologiche ai fini idrogeologici con alcune considerazioni riguardo alla loro importanza idrogeologica e senza considerare l'effettiva presenza di risorse idriche sotterranee.

– Details from N. 611 Mistretta hydrogeological sheet map. The map consists in a hydrogeological reclassification of geological units with some information on their hydrogeological significance and without any consideration about groundwater resource occurrence.

cora approvate, alcune integrazioni e modifiche alle linee guida esistenti allo scopo di ottenere una carta idrogeologica immediatamente leggibile, di migliorarne l'efficacia descrittiva, di definire un chiaro quadro degli aspetti quantitativi e di protezione delle risorse idriche sotterranee e di contribuire a tracciare un'appropriata attività di monitoraggio, sempre in conformità ad un robusto database derivante da misure di campagna. Queste verifiche sperimentali hanno anche dato inizio alla discussione riguardo alla cartografia digitale, contribuendo alla definizione dei criteri per l'organizzazione, la gestione e la restituzione cartografica delle informazioni di un database idrologico ed idrogeologico tramite la costruzione di livelli informativi tematici specifici interfacciabili con un GIS.

Seguendo le specifiche delle suddette linee guida e relative proposte di modifica ed integrazione sono in preparazione i quattro fogli n. 505 Moliterno, 506 Sant'Arcangelo, 521 Lauria e 522 Senise della Regione Basilicata.

È stato inoltre recentemente rilevato direttamente dal personale del Servizio Geologico d'Italia il Foglio Idrogeologico n. 348 Antrodoco (pubblicato in forma preliminare da CONTE *et alii*, 2016). Questa cartografia è stata realizzata seguendo il più fedelmente possibile le linee guida ufficiali fin dalla sua fase di pianificazione (e.g. raccolta dati con cadenza almeno mensile protratta per almeno due anni e misure seriate lungo l'alveo dei corsi d'acqua per rilevare incrementi/decrementi di portata) e nell'organizzazione del campo carta, della Legenda dei complessi idrogeologici, della Legenda dei

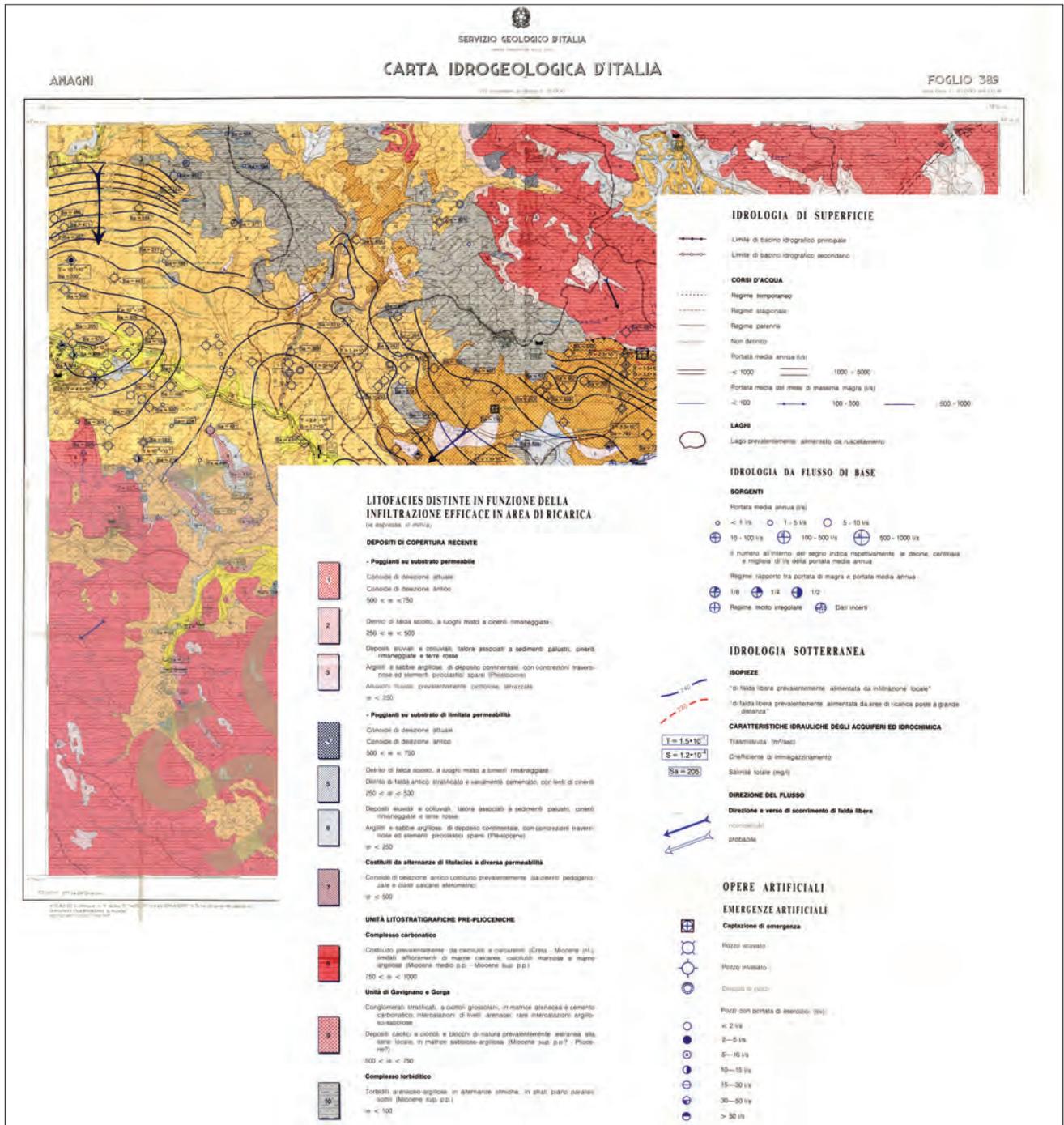


Fig. 10 – Stralci della Carta Idrogeologica d'Italia del Foglio n. 389 Anagni (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1993). La Legenda dei complessi idrogeologici è basata sui valori dell'Infiltrazione efficace calcolata su basi quantitative. La strutturazione cartografica di questo Foglio è finalizzata ad una immediata evidenziazione della potenzialità e della distribuzione della risorsa idrica sotterranea.
 - Details from N. 389 Anagni hydrogeological sheet map. Hydrogeological complexes have been classified on the basis of effective infiltration calculation. The map has been realized for showing an immediate outline of groundwater resource spatial distribution and potentiality.

simboli, delle sezioni idrogeologiche verticali e degli elementi e schemi a margine, ecc. (fig. 11).

È stata infine realizzata, mediante collaborazione tra vari Enti di ricerca e Atenei compreso il Servizio Geologico d'Italia e su proposta del Comune di Roma, la Carta Idrogeologica di Roma (LA VIGNA & MAZZA, 2015), non in un formato standard IGMI. Questa cartografia raccoglie le informazioni idrogeo-

logiche rilevate dai vari enti partecipanti, utilizzando al meglio le linee guida ufficiali e riuscendo a realizzare un prodotto di sintesi cartografica idrogeologica di notevole qualità.

In conclusione, si rileva con rammarico che, al momento, il solo ostacolo alla realizzazione di una Cartografia Idrogeologica d'Italia di qualità è il perdurare della mancanza di fondi di finanziamento.

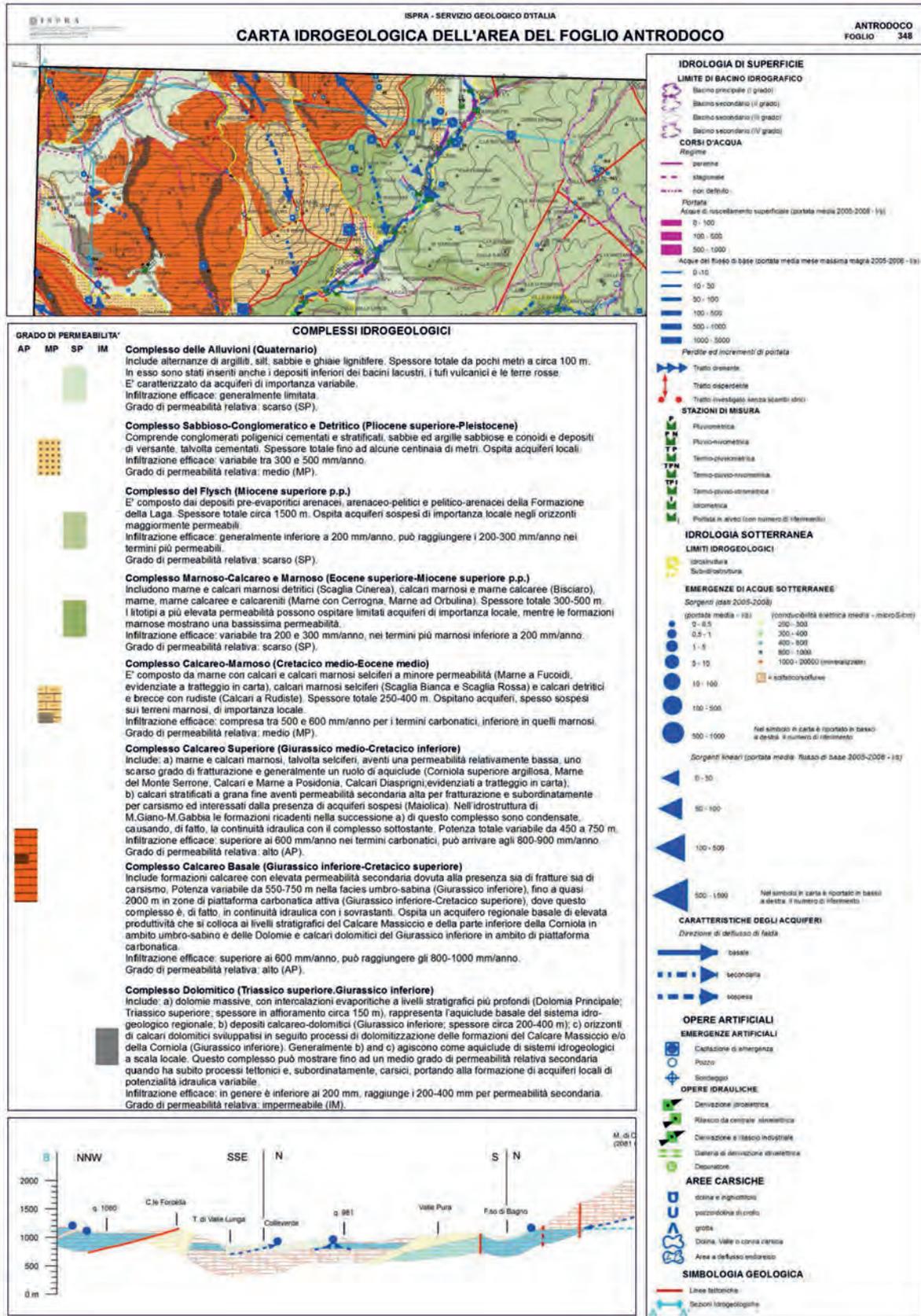


Fig. 11 – Stralci della versione preliminare della Carta Idrogeologica del Foglio n. 348 Antrodoco (CONTE *et alii*, 2016). L'organizzazione del campo carta, della Legenda dei complessi idrogeologici, della Legenda dei simboli, delle sezioni idrogeologiche verticali e degli elementi e schemi a margine, ecc., segue il più fedelmente possibile le linee guida ufficiali e le recenti proposte di modifica e integrazione.
 - Details from the preliminary version of N.348 Antrodoco hydrogeological sheet map. Map, hydrogeological complex and symbol legends, hydrogeological cross-sections, other sketch maps, etc., have been realized giving the best accuracy to official hydrogeological mapping guidelines and recent modification and implementation proposals.

3. - LA CARTA GRAVIMETRICA: L'ESPERIENZA DEI FOGLI IN SCALA 1:100.000 E 1:50.000

CESI C. (*), EULILLI V. (**), FERRI F. (**)

3.1. - CARTE GRAVIMETRICHE ALLA SCALA 1:100.000

Nel 1965 i geofisici del Servizio Geologico d'Italia iniziarono un programma di pubblicazione della gravimetria relativa ai Fogli geologici alla scala 1:100.000 editi "per consentire un confronto tra i dati ricavati dal rilevamento geologico e quelli ottenuti da uno dei metodi geofisici che più si prestano per lo studio strutturale" (AMADEI *et alii*, 1965). A questo riguardo va evidenziato come la rappresentazione gravimetrica, effettuata tramite linee di isovalore delle Anomalie di Bouguer, veniva restituita su foglio lucido trasparente in acetato per consentire la diretta sovrapposizione al foglio geologico e permettere in tal modo una lettura congiunta delle due carte e la loro interpretazione. Il rilevamento dei Fogli avveniva spesso in collaborazione con altri Enti, primo tra tutti l'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste, assicurando in media una densità di stazioni di circa 1 stazione/1,7-1,8 kmq. La qualità del prodotto finale risultava la migliore possibile in relazione agli strumenti all'epoca disponibili, laddove inoltre i calcoli e le restituzioni grafiche necessarie erano fatte spesso manualmente. Per tutti i fogli si è proceduto con una catena di elaborazione standard che prevedeva il calcolo delle anomalie per densità differenziate e l'utilizzo del metodo grafico delle "gravità medie" per la determinazione del campo regionale, la riduzione per la calotta e correzione topografica estesa fino a 166,736 km. I Fogli ufficiali venivano talora anche inseriti nella collana editoriale del Bollettino del Servizio Geologico d'Italia. Infine, sempre a fini interpretativi, la Carta gravimetrica comprendeva anche una serie di profili di gravità coincidenti con i rispettivi profili della carta geologica.

In totale sono stati editi 11 fogli gravimetrici in un periodo tra il 1965 e il 1980:

CARTOGRAFIA GRAVIMETRICA 1:100.000
su supporto lucido trasparente (acetato)

<i>nome</i>	<i>n. Foglio</i>	<i>anno di pubblicazione</i>
Bracciano	143	1973
Cerignola	175	1968
Cerveteri	149	1968
Civitavecchia	142	1973
Frosinone	159	1973
Gaeta	171	1980
Isola Ischia-Napoli	183-184	1968
Latina	158	1965
Roma	150	1968
Terracina	170	1974
Viterbo	137	1970

3.2. - CARTE GRAVIMETRICHE ALLA SCALA 1:50.000

Il Foglio 389 Anagni, edito come allegato al vol. XCIV del Bollettino del Servizio Geologico nel 1973, (fig. 12) intendeva essere il primo di una nuova serie di pubblicazioni affiancata a quella già esistente della Carta gravimetrica a scala 1:100.000. Differisce da questi ultimi nella veste tipografica non essendo più realizzato su supporto plastico trasparente, bensì presentando le isoanomalie di Bouguer sovrastampate alla base topografica corrispondente, con indicazione dei massimi e minimi gravimetrici e ubicazione dei punti di misura. Il lavoro di elaborazione è stato impostato con i medesimi criteri adottati per la realizzazione della Carta Gravimetrica 1:100.000.

Nel 1978 vengono pubblicati con lo stesso formato il Foglio 291 Pergola e il Foglio 332 Scansano; per quest'ultimo vengono però effettuate una correzione topografica e della calotta utilizzando una densità costante pari a 2,4 g/cm³.

Il Foglio 301 Fabriano, pubblicato nel 1981, nasce come primo foglio di una nuova "Carta Gravimetrica e Strutturale" in cui vengono integrati i risultati dello studio gravimetrico e di quello strutturale connesso al rilevamento geologico, effettuati in collaborazione con altri Enti: per la parte gravimetrica con Agip e per la parte di geologia strutturale con l'Università di Camerino. Oltre alle isoanomalie di Bouguer il foglio presentava quindi tutti gli elementi strutturali di dimensione lineare superiore al km. La densità media di misure era di 1 stazione/kmq. Questo foglio introduce anche l'utilizzo di operatori filtro bidimensionali passa alto e passa basso, applicati nel dominio delle frequenze, per meglio evidenziare i caratteri gravimetrici di strutture poste a diversa profondità. Le Anomalie di Bouguer sono state calcolate per densità costante pari a 2,4 g/cm³. Quattro mappe filtrate, due passa alto e due passa basso, vengono collocate nell'inquadratura marginale del foglio, e rappresentate alla scala 1:200.000. Il Foglio è inoltre corredato da Note Illustrative, inserite in custodia plastica trasparente.

Con l'operatività del Progetto CARG, sin da metà degli anni '90 era nato il progetto di una nuova cartografia gravimetrica alla scala 1:50.000 a corredo del foglio geologico corrispondente, in quanto avrebbe fornito all'utente un ulteriore strumento di lettura ed interpretazione del quadro geologico e strutturale delle aree rilevate. Sempre nello stesso periodo erano state predisposte delle Linee Guida per la realizzazione della nuova cartografia gravimetrica recanti indicazioni sulle procedure operative comunemente adoperate presso la comunità scientifica per una corretta elaborazione delle Anomalie di Bouguer. Tali linee Guida suggerivano altresì degli elementi di riferimento per una uniforme rappresentazione cartografica delle informazioni gravimetriche. Sia l'impianto della Nuova Carta che le informazioni contenute nelle linee guida sono stati sperimentati scegliendo il Foglio 373 Cerveteri come foglio prototipale. Il foglio infatti interessava sia aree di

(*) Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento per la programmazione e il coordinamento della politica economica

(**) Servizio Geologico d'Italia, ISPRA

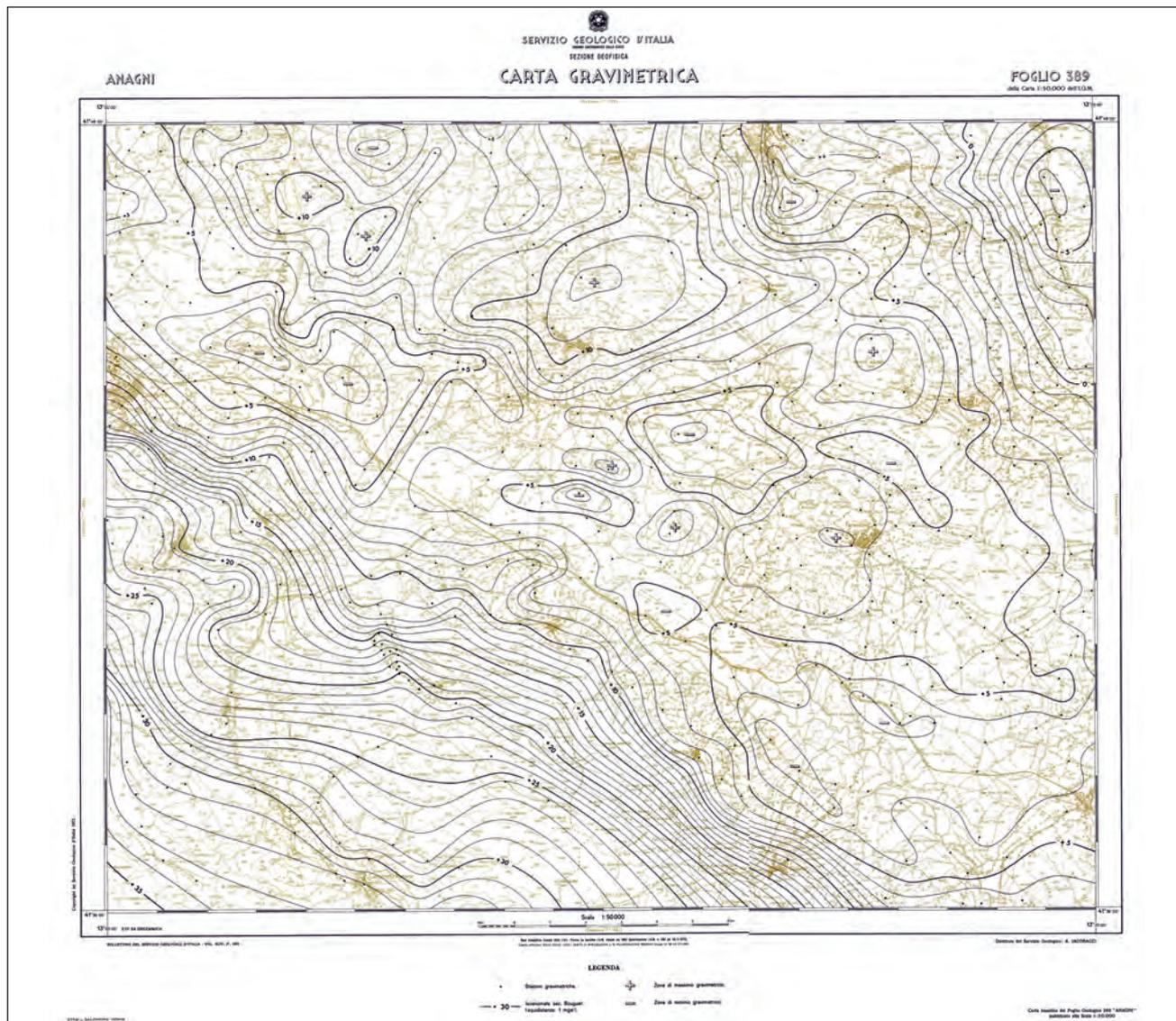


Fig. 12 - Carta Gravimetrica relativa al primo Foglio edito nel 1973 dalla Sezione geofisica del Servizio Geologico d'Italia alla scala 1:50.000 – foglio 389 Anagni.
 - The first sheet 389 Anagni of the gravity map at 1:50.000 scale, published in 1973 by the Geophysical Section of the Geological Survey of Italy.

terra che marine e la densità delle misure già disponibili non risultava adeguata per il calcolo delle anomalie, per cui si rendevano necessari nuovi rilievi di terra e soprattutto nelle aree marine, che integrassero le informazioni gravimetriche acquisite, in epoche differenti e da Enti diversi. Infatti oltre alla esecuzione di raffittimenti a terra ed alla omogeneizzazione di tutti i dati già esistenti, è stato eseguito un nuovo rilevamento di oltre 300 stazioni gravimetriche di fondo mare. La densità media di misura su tutto il foglio è pari a 1 stazione/0,4 km². Seguendo le indicazioni delle Linee Guida, le Anomalie di Bouguer sono state calcolate per densità costante (per questo foglio pari a 1,9 gr/cm³) e tracciate con equidistanza di 0,5 mGal, con tratto più spesso ogni 1 mGal. Le curve sono state sovrapposte ad una cartografia geologica semplificata, ottenuta accorpando le varie formazioni in base a criteri prevalentemente litostratigrafici e di densità. Nella porzione occupata dal mare vengono riportate le curve batimetriche e la distribu-

zione areale dei sedimenti, distinti per classi granulometriche. L'impianto grafico del foglio comprende la legenda geologica e gravimetrica, uno stralcio dello Schema strutturale a scala 1:500.000 e la rappresentazione delle mappe filtrate alla scala 1:200.000 (tramite operatori filtro passa alto, passa basso e passa banda).

Il Foglio 374 Roma del 2008 rappresenta ad oggi la prima edizione del dato gravimetrico proposto in una collana editoriale impostata come le altre collane editoriali del Servizio Geologico d'Italia, secondo i tagli della corrispondente Carta topografica dell'Istituto geografico militare. È stato pubblicato contemporaneamente e conformemente al corrispondente foglio geologico e l'informazione gravimetrica, stampata su carta opaca piegata in formato A5 e corredata da Note illustrative, reca in appendice alle Note anche le "Linee Guida per la produzione di fogli ufficiali della cartografia gravimetrica d'Italia", revisionate ed aggiornate, in base alle quali è stato realizzato il foglio stesso. Per quanto riguarda il cal-

colo delle Anomalie di Bouguer è stato possibile rendere adeguatamente omogenea la distribuzione dei punti di gravità misurati recuperando i dati di un lavoro eseguito nel centro urbano della Città di Roma nel 1984 dall'Istituto di Topografia e Geodesia dell'Università di Roma (DI FONZO *et alii*, 1986) e consistente di 205 stazioni. Dopo attenta verifica dei valori di gravità e delle ubicazioni, tali dati sono stati integrati con quelli della Banca Dati Geofisici del Servizio Geologico ottenendo una distribuzione spaziale delle stazioni gravimetriche di circa 1,3 punti di misura ogni km². Le isoanomalie sono state calcolate anche per le aree contermini al foglio, onde eliminare effetti di bordo nel loro calcolo, per un'estensione complessiva pari al doppio della superficie interessata dal foglio stesso (623 kmq). Le curve vengono rappresentate tramite *contour* sovrapposti alla base geologica semplificata derivante dal foglio geologico a scala 1:50.000, così come i punti stazione e le zone di massimo e minimo gravimetrico. Le isoanomalie di Bouguer hanno equidistanza pari a 0,5 mGal.

Per omogeneità con gli elementi rappresentati nella cartografia geologica a pari scala, i profili delle anomalie di Bouguer sono stati ricavati lungo le tracce delle sezioni del corrispondente foglio geologico. I profili gra-

vimetrici sono presentati sovrapposti a tali sezioni geologiche nell'inquadratura marginale (campo sezioni). Le elaborazioni successive sono poi rappresentate nell'inquadratura marginale della Carta ad una scala 1:200.000 e consistono in filtri passa alto e passa basso ed in una carta delle anomalie residue ottenuta per sottrazione delle anomalie di Bouguer da un campo regionale, calcolato con un polinomio di II ordine.

Sempre nell'inquadratura marginale è inserito uno schema tettonico a scala 1:200.000 a cui è sovrapposta la mappa filtrata passa alto (lunghezza d'onda di taglio di 11 km) con la corrispondente interpretazione gravimetrica qualitativa (fig. 13).

In totale sono stati editi 6 fogli gravimetrici in un periodo tra il 1973 ed il 2008:

CARTOGRAFIA GRAVIMETRICA 1:50.000

nome	Foglio n.	anno di pubblicazione
Anagni	389	1973
Pergola	291	1978
Scansano	332	1978
Fabriano	301	1981
Cerveteri	373	2007
Roma	374	2008

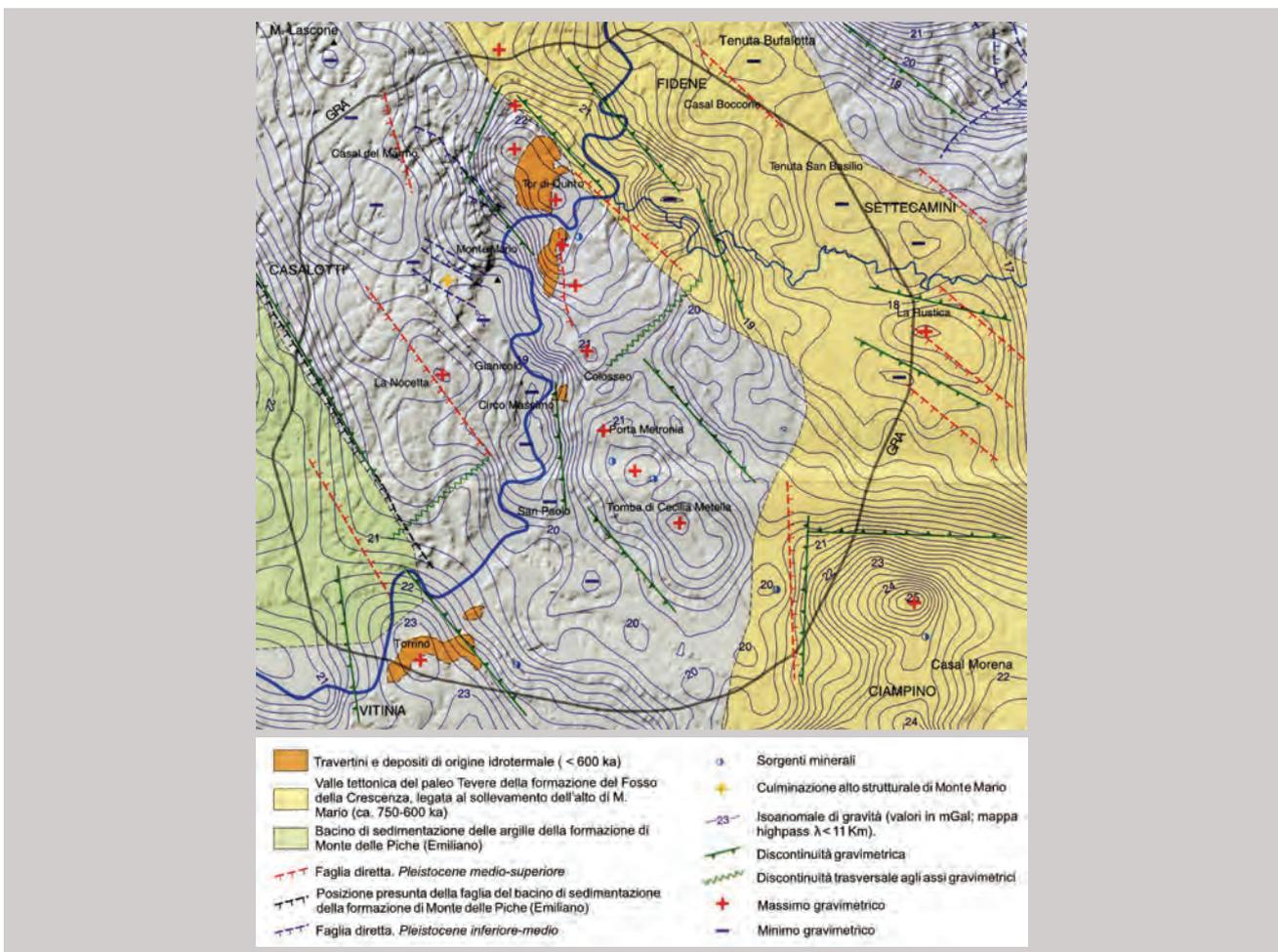


Fig. 13 - Schema tettonico - gravimetrico a scala 1:200.000 relativo alla Carta gravimetrica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 374 Roma. - Gravity-tectonic scheme at 1:200.000 scale, part of the Gravity Map of Italy at 1:50.000 scale - sheet 374 Roma.

4. - LE CARTE DI PERICOLOSITÀ GEOLOGICA PER FRANA. L'ESEMPIO DEL FOGLIO 348 ANTRODOCO

AMANTI M. (*), CHIESSI V. (*)

Le attività cartografiche in questo ambito sono nate in seno al Servizio Geologico d'Italia su indicazione della legge 183/89 sulla difesa del suolo nella quale si individua nel bacino idrografico l'unità più idonea per realizzare azioni organiche di tutela del territorio e salvaguardia ambientale. All'Autorità di bacino, per la prima volta, si affidano compiti di pianificazione e programmazione su di un territorio delimitato non su base politica, ma con criteri geomorfologici e ambientali. Tutto ciò costituisce un tentativo concreto di superare le suddivisioni amministrative che ostacolavano la possibilità di affrontare i problemi legati al ciclo dell'acqua e alla difesa del suolo unitariamente e ad una scala territoriale adeguata.

Tra i vari criteri per la redazione dei piani di bacino (DPR 18/7/1995) vi è "l'individuazione di situazioni a rischio idraulico, geologico e sismico". Successivamente per effetto di ulteriori disposizioni di legge emanate tra il 1998 ed il 2000 in seguito ad eventi eccezionali (L. 267/1998, L. 226/1999, L. 365/2000) alle Autorità di bacino fu affidato il compito di predisporre il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) che prevede la perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico introducendo il concetto di rischio totale (R):

$$R = P \cdot V \cdot E \quad \text{dove}$$

- Pericolosità (P): probabilità che un fenomeno avverso (*Hazard*) di una certa intensità si verifichi in un dato periodo di tempo, in una data area e per determinate cause d'innescio;

- Vulnerabilità (V): grado di perdita atteso su un dato elemento o gruppi di elementi a rischio derivante da un potenziale fenomeno distruttivo di una data intensità (espressa in una scala da 0, nessuna perdita, a 1 perdita totale);

- Elementi a rischio (E): popolazione, proprietà, attività economiche a rischio in una data area.

Il primo aspetto da valutare nell'ambito della strategia della prevenzione è quindi connesso alla valutazione della pericolosità geologica; ovvero alla individuazione della probabilità che uno specifico processo potenzialmente calamitoso si verifichi in una determinata area, in un determinato intervallo temporale e con una determinata intensità. È evidente che la valutazione della pericolosità geologica secondo l'accezione canonica e completa del termine, implica, dal punto di vista dell'applicazione a casi reali, una serie di problemi non trascurabili, a causa della molteplicità e dell'elevato grado di indeterminazione delle variabili in gioco.

In particolare la visione temporale risulta di difficile applicabilità a valutazioni che riguardano i fenomeni franosi, dove le serie storiche sono spesso brevi o discontinue ed i fenomeni frequentemente si presentano come casi di neoformazione.

In ambito CARG sono stati finanziati 4 fogli di pericolosità geologica connessa con l'instabilità dei versanti, distribuiti sul territorio nazionale, al fine di testare diverse metodologie applicabili ai diversi ambiti geologici presenti sul territorio italiano ed alle differenti tipologie di fenomeni franosi. I 4 fogli (fig. 14) sono il Foglio 028 Marmolada, 211 Deago, 250 Castelnuovo di Garfagnana e 407 San Bartolomeo in Galdo.

Il Servizio Geologico d'Italia ha deciso inoltre di realizzare una propria carta di Propensione al dissesto nell'area del Foglio 348 Antrodoco, alla scala 1:50.000. Pur essendo tuttora in corso il rilevamento geologico della carta da parte dello stesso Servizio Geologico d'Italia, si è deciso di effettuare lo studio campione in tale area adottando e modificando all'uopo l'esistente rilevamento alla scala 1:100.000, con originali di campagna al 1:25.000, integrandolo con rilievi più moderni.

La scala adottata per la carta finale (1:50.000) risulta essere una scala intermedia tra quella locale di dettaglio e quella territoriale di area vasta e permette di analizzare differenti aspetti metodologici. I rilievi sul terreno sono stati comunque realizzati alla scala di 1:10.000, come di seguito meglio descritto.

L'area di studio è caratterizzata dalla presenza di successioni sedimentarie che abbracciano paleoambienti che variano dal bacino alla piattaforma interna, con tutte le facies intermedie di passaggio, ed età dal Triassico superiore al Neogene. I litotipi sedimentari registrano un'evoluzione tettonico-sedimentaria dei suoi bacini costituente un ciclo orogenetico completo.

L'area è caratterizzata da una orografia piuttosto accidentata, formata da crinali ad andamento meridiano, con morfologie molto accentuate e quote che arrivano oltre i 2000 m.

Dal punto di vista sismico l'area è caratterizzata da una elevata pericolosità, si sono infatti verificati in passato eventi di sismicità piuttosto rilevanti registrati anche in cataloghi storici.

L'approccio generale che è stato seguito per la realizzazione della carta è di tipo comparativo, sono state cioè applicate metodologie statistiche e deterministiche, confrontate ed analizzate allo scopo di mettere in luce aspetti negativi e punti di forza delle une e dell'altre.

I dati di base utilizzati provengono da banche dati pubbliche e liberamente fruibili, le elaborazioni effettuate, descritte nelle note illustrative, sono pertanto riproducibili da chiunque.

Il lavoro ha avuto le seguenti caratteristiche:

- Analisi Bibliografica

Per prima cosa è stata effettuata una analisi critica preliminare delle metodologie impiegate per la valuta-

(*) Servizio Geologico d'Italia, ISPRA

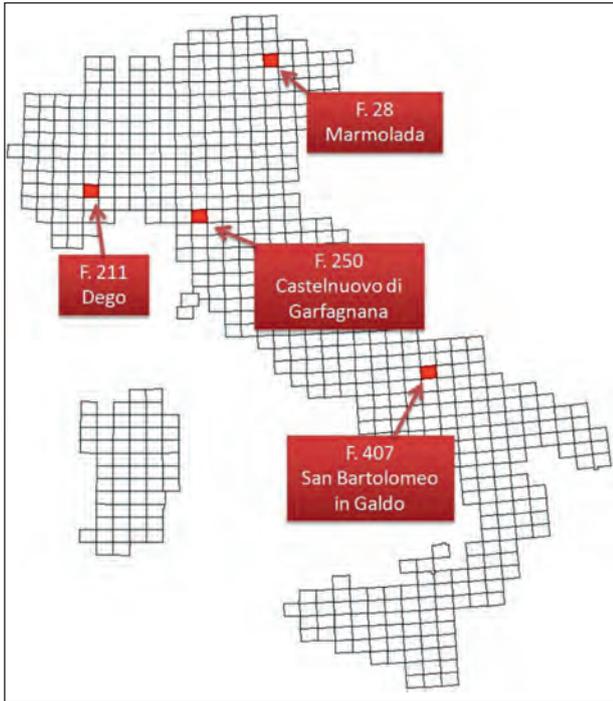


Fig. 14 - Localizzazione dei 4 fogli di pericolosità geologica per instabilità dei versanti.

- Position of the 4 experimental Geological hazard sheets in the Italian Country.

zione della pericolosità per frana. Si è proceduto ad una vasta ricerca bibliografica volta alla definizione dello stato dell'arte relativamente alle tecniche usate per la determinazione della pericolosità connessa all'instabilità dei versanti. La ricerca è stata condotta prendendo in considerazione la produzione scientifica nazionale ed internazionale inerente il tema, sia in termini teorici e metodologici, sia in termini applicativi a piccola e a grande scala,

- Carattere sperimentale attribuito allo studio

Come già detto ciò ha consentito di valutare più approcci e di individuare le metodologie più consone. Si è cercato di seguire un filo conduttore che partisse da metodi generali statistici a quelli più specifici deterministici;

- Ipotesi semplificative

Data la complessità del sistema si è operata la scelta, pur rimanendo in un'ottica di rigore scientifico, di introdurre alcune ipotesi semplificative in modo da poter impiegare procedure di individuazione della pericolosità facilmente applicabili;

- Interdisciplinarietà del gruppo di lavoro

Sono state coinvolte tutte le componenti interessate: il geologo innanzi tutto che contribuisce alla conoscenza dei processi geologici e delle loro interazioni con il territorio, l'ingegnere geotecnico, che affronta il problema delle implicazioni meccaniche, lo statistico, che affronta il problema spesso sottovalutato della gestione dei dati, l'informatico che formalizza il

tutto entro un modello concettuale per la progettazione e sviluppo di un Sistema Informativo Territoriale integrato.

- Utilizzo di dati *open source*

È stato utilizzato un Modello Digitale del Terreno a maglia 20 m proveniente dall'IGMI da cui sono state derivate le variabili morfometriche, topografiche ed idrologiche ed altri dati di libero accesso;

- Utilizzo di strumenti informatici

La strutturazione e gestione delle informazioni di base è avvenuta avvalendosi delle funzionalità consentite dai Sistemi Informativi Geografici e sviluppando specifiche interfacce per l'ingegnerizzazione della procedura;

- Elaborati cartografici e note illustrative

Si è cercato di predisporre un prodotto cartografico che pur derivando da un approccio scientifico rigoroso fosse di facile lettura, impiegando legende semplificate ed avendo come elementi a cornice diversi cartogrammi, schemi e tabelle di supporto all'interpretazione dell'elaborato tematico. Nelle note illustrative sono stati analizzati tutti gli aspetti teorici e pratici e discussi i risultati, al fine di fornire utili indicazioni a coloro che dovessero effettuare una analisi di pericolosità.

Al termine del lavoro che ha visto all'opera numerosi specialisti, come si è detto di differenti estrazioni, ed è stato utile a fare maturare in ambito ISPRA conoscenze e sviluppare aggiornati *skill* professionali è stato possibile definire alcuni criteri generali da condividere con il mondo scientifico e le realtà professionali pubbliche e private.

Grandissima attenzione e molte energie vanno indirizzate alla cura nella raccolta e definizione dei dati di base, che condizionano le analisi ed elaborazioni che possono essere effettuate. Una menzione particolare va fatta per l'archivio dei fenomeni franosi che deve essere il più aggiornato possibile, meglio se multi temporale, e per quanto possibile scevro da interpretazioni personali. Analogo discorso va fatto per l'accuratezza del modello digitale del terreno, dal quale direttamente ed indirettamente derivano molti dei fattori che contribuiscono alle elaborazioni.

È fondamentale valutare e validare i risultati ottenuti attraverso le metodologie che la statistica ci mette a disposizione (Curve ROC, curve *success/prediction*, etc.). Una previsione senza un test di affidabilità è poco più di una valutazione soggettiva.

Va scelta con cura e criterio anche la metodologia adottata per suddividere le classi di stabilità (alta - media - bassa). Una modellazione rigorosa può essere vanificata al momento di classificare l'attitudine delle classi, andando ad inficiare i risultati ottenuti.

Una modellazione molto spinta può essere non motivata in presenza di dati di base scadenti o mediocri e fungere solo da "copertura" ad una sostanziale ignoranza della situazione reale.

Nelle figure 15 e 16 sono mostrati due esempi delle elaborazioni effettuate e delle differenti possibili uscite di metodologie differenti.

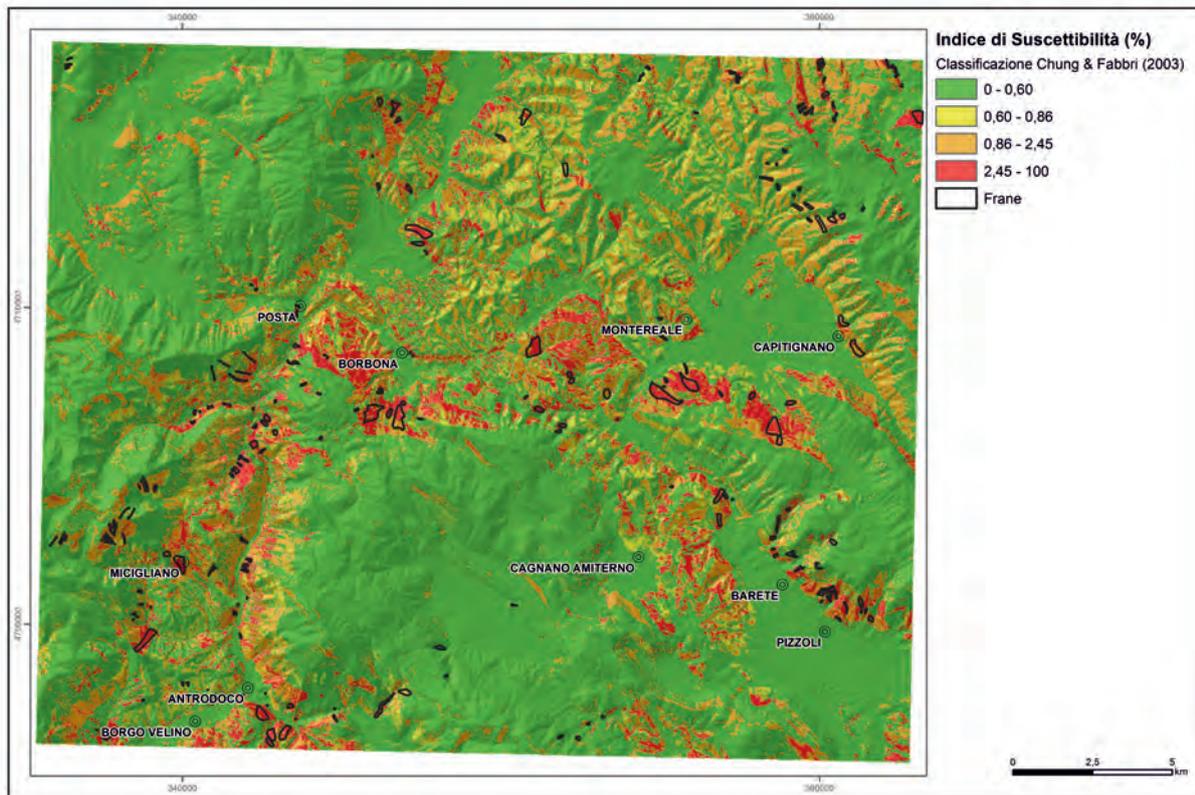


Fig. 15 – Elaborazione della suscettività di frana espressa in termini di probabilità utilizzando il metodo probabilistico della analisi logistica degli eventi rari. I regressori utilizzati dopo l'analisi bivariata sono l'esposizione, l'uso del suolo, il modello digitale del terreno, la pendenza, la litologia. Il territorio è suddiviso in quattro classi i cui limiti sono stati definiti mediante la metodologia di Chung e Fabbri del "ratio of effectiveness".

- Landslide susceptibility in the area, defined according to the probabilistic approach of "logistics analysis of rare events". After a bivariate analysis, exposure, land use, digital terrain model, slope and lithology data were used as regressors. The study area was then classified in 4 classes whose limits are defined by the method of "ratio of effectiveness by Chung and Fabbri.

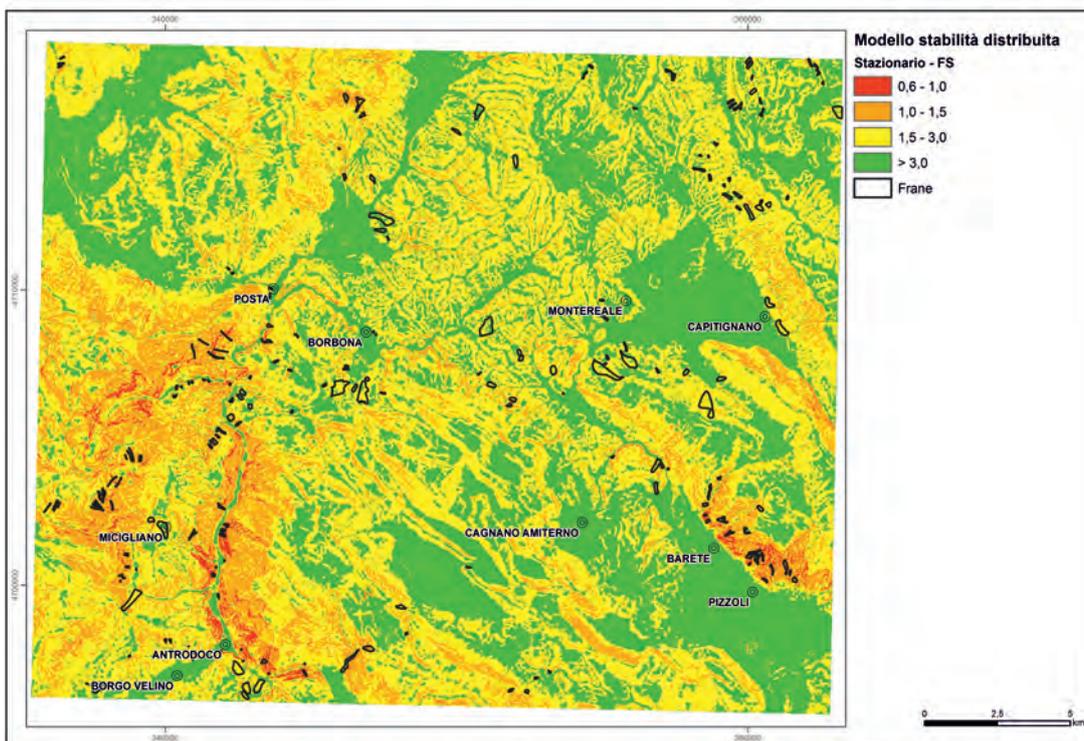


Fig. 16 - Elaborazione della suscettività di frana effettuata utilizzando il metodo deterministico del pendio infinito. Il risultato è espresso in termini di fattore di sicurezza. La modellazione effettuata consiste in una analisi di stabilità distribuita pixel a pixel della coltre superficiale su basamento rigido. Il modello di infiltrazione adottato è quello di Beven e Kirby, i dati di pendenza derivati dal DTM, le caratteristiche geotecniche da test di laboratorio. - Landslide susceptibility in the area according to the deterministic approach of "infinite slope". The result is expressed in terms of safety factor. The modeling is carried out using a distributed stability analysis in each pixel of the superficial layer resting on the bedrock. The adopted infiltration model, by Beven and Kirby, uses slope data from DTM and geotechnical characteristics of the terrains coming from laboratory tests.

5. - LA CARTA GEOLOGICA DEI MARI ITALIANI ALLA SCALA 1:250.000

D'ANGELO S. (*), FIORENTINO A. (*)

5.1. - CARTOGRAFIA DEI FONDALI A SCALA DI BACINO

La carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 rappresenta anche le aree marine (D'ANGELO, questo volume) entro il limite del taglio dei Fogli (fig. 17), ma ciò non consente di avere una visione sinottica della geologia di un intero bacino. Con i metodi utilizzati per il rilevamento a mare è molto difficile ottenere, con costi ragionevoli, una copertura areale di dati geologici in bacini profondi come il Mar Tirreno o il Mar Ligure. Il Mar Adriatico invece, per la sua costituzione fisiografica e geologica, permette di essere investigato con i comuni metodi di indagine, anche nel sottofondo. Inoltre, la notevole mole di dati raccolta, dalla sua fondazione, dall'Istituto di Geologia marina di Bologna (CNR-ISMAR) su questo mare ha consentito di realizzare e pubblicare, nell'ambito dei finanziamenti per il CARG, una cartografia dedicata esclusivamente alle aree marine, che fornisca una rappresentazione esaustiva e analitica delle conoscenze acquisite in questo bacino (FABBRI *et alii*, 2002). Per esprimere al meglio le informazioni raccolte si è stabilito di utilizzare la griglia di 1° di latitudine e 2° di longitudine utilizzata dall'IGMI per i Fogli della serie JOG, alla scala 1:250.000. Per raffigurare la maggior area marina possibile e mantenere la massima copertura delle acque territoriali ci si è avvalsi della possibilità di spostare in senso est-ovest la posizione dei Fogli JOG.

La geologia del Mare Adriatico è stata rappresentata alla scala 1:250.000, in 5 Fogli con relative note illustrative: NL-33-7 Venezia, NL 33-10 Ravenna, NK33-1/2 Ancona, NK33-5 Pescara, NK 33-6 NK 33-8/9 Vieste e Bari (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2001, 2011a, b, c, d) (fig. 17).

5.2. - STORIA GEOLOGICA DEL MARE ADRIATICO

Il Mare Adriatico si imposta fra l'Italia e i Balcani con profondità relativamente modeste: solo nel settore meridionale, al largo delle coste pugliesi, raggiunge la massima profondità di 1.200 metri (fig. 17). Geologicamente, il settore occidentale comprende l'avanfossa appenninica, mentre quello orientale appartiene all'avanfossa bradanica, separate dall'avampaese non deformato delle due catene (ARGNANI *et alii*, 1993). Le anomalie di Bouguer (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2005) mostrano valori minimi all'altezza del Conero, nella zona di Pescara e nei pressi della costa albanese; i valori massimi si riscontrano nelle zone del Gargano e dell'Istria.

La struttura di avanfossa continua, migrata verso est, durante il Pliocene-Quaternario; è evidenziata da due zone di accumulo di sedimenti in corrispondenza

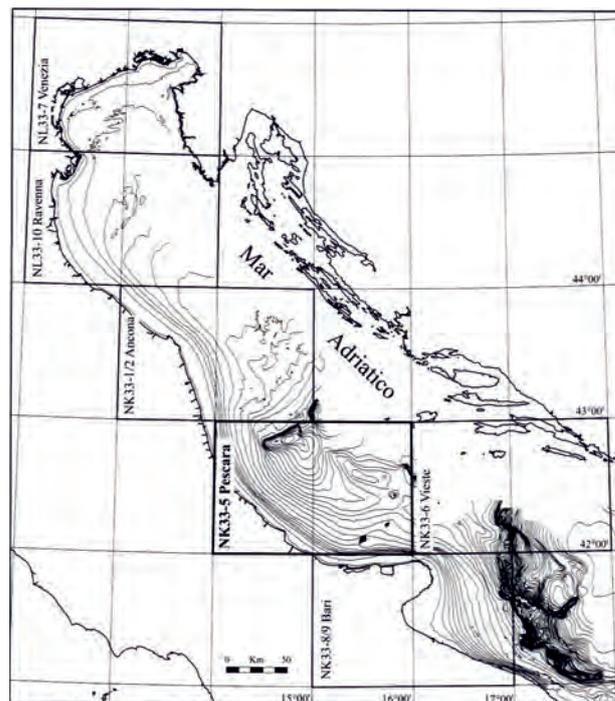


Fig. 17 – Carta batimetrica del Mar Adriatico e carta-indice della Carta Geologica dei Mari italiani alla scala 1:250.000 (da TRINCARDI *et alii*, 2011). - Bathymetric map of the Adriatic Sea and Index Map of the Italian Seas Geological Map at 1:250,000 scale.

dei due minimi delle anomalie di Bouguer e da un riflettore sismico, acclive verso la catena appenninica, sul quale i depositi plio-quadernari terminano in *onlap* (ARGNANI & GAMBERI, 1997). Il riempimento dell'avanfossa nel Plio-Pleistocene è costituito da corpi sedimentari che vanno da torbiditi di mare profondo, depositi nel Pliocene inferiore, fino a progradazioni deltizie di mare basso succedutesi nel Pleistocene, con geometrie che hanno risentito delle variazioni relative del livello del mare (fig. 18).

5.2.1. - Informazioni su quattro dimensioni

I dati raccolti relativamente alle aree sommerse sono costituiti da profili sismici, sondaggi profondi e carotaggi, che permettono di investigare e dare un valore litologico e stratigrafico-sequenziale ai corpi geologici del fondo e del sottofondo marino, con una buona risoluzione verticale e una risoluzione spaziale che dipende dalla densità dei tracciati e dei prelievi. Data la variabilità spaziale dei depositi più superficiali investigati, l'unica tracciabilità laterale valida è quella delle superfici di discontinuità, mentre, per i corpi geologici più antichi, la griglia delle registrazioni sismiche consente di rappresentare l'assetto tettonico-strutturale delle formazioni relative alla superficie al di sotto della base del Pliocene, che coincide nell'area con la fase post-evaporitica.

(*) Servizio Geologico d'Italia, ISPRA

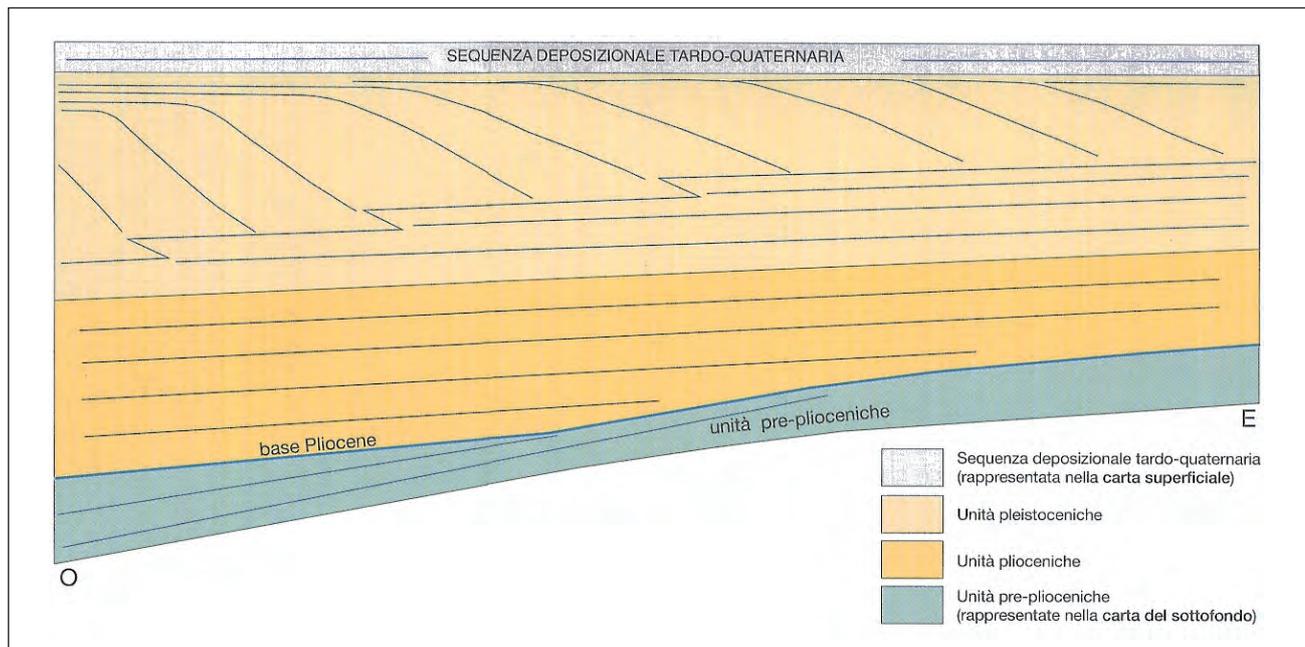


Fig. 18 – Schema dei rapporti stratigrafici e delle geometrie deposizionali (F. NL 33-10 Ravenna).
- Stratigraphical scheme and depositional patterns (sheet NL 33-10 Ravenna).

Per il Mare Adriatico è stato possibile quindi rappresentare la geologia di diversi orizzonti temporali in due carte per ciascun foglio: la carta superficiale e la carta del sottofondo. I dati raccolti sono stati anche descritti, al di fuori del campo principale della carta, in numerose sezioni geologiche e carte accessorie che ricostruiscono lo spessore di corpi geologici sovrapposti, fornendo anche una descrizione spazio-temporale delle informazioni raccolte (FABBRI *et alii*, 2002) (fig. 19).

5.2.2. - Carta superficiale

La batimetria di dettaglio per lo studio dei fondali è stata ottenuta per mezzo di indagini acustiche *single-* e *multi-beam*. Le unità rappresentate sono state caratterizzate anche con l'ausilio di analisi delle bio e tafocenosi e di datazioni radiometriche dei campioni prelevati.

Sulle carte geologiche superficiali alla scala 1:250.000 del Mare Adriatico vengono rappresentati

tutti i corpi geologici che affiorano o sub-affiorano sul fondo, con particolare riferimento ai depositi relativi all'ultima fluttuazione tardo-quadernaria del livello marino (post 125.000 anni ca.); in particolare se ne descrivono l'estensione areale, lo spessore e le facies caratteristiche. I depositi maggiormente rappresentati sono quelli relativi al cuneo di stazionamento alto (*HST*) che si allunga parallelo alla costa attuale, alimentato dai sedimenti fini provenienti dai principali fiumi, dispersi lungo costa dalla circolazione antioraria delle acque del Mare Adriatico, e quelli trasgressivi (*TST*), di ambiente paralico-costiero e marino, che registrano il progressivo cambiamento nell'assetto fisiografico che accompagna la risalita del livello del mare; alla base della sequenza, i depositi relativi alla caduta e allo stazionamento basso del livello del mare (*FSST-LST*) sono costituiti da argille continentali, con orizzonti torbosi e corpi sabbiosi, delimitati al tetto da una superficie di esposizione subaerea (fig. 20).

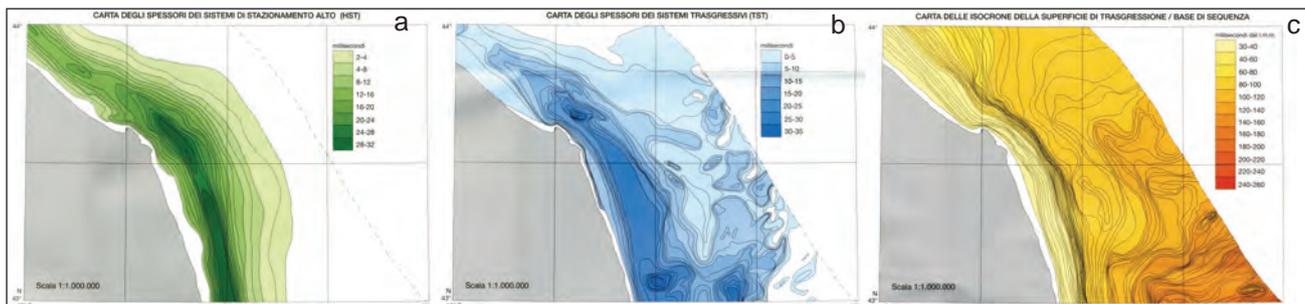


Fig. 19 – a) Carta degli spessori dei sistemi di stazionamento alto del l.m. (dal F. NK 33-1-2 Ancona); b) Carta degli spessori dei sistemi trasgressivi del l.m.; c) Carta delle isocrone della superficie di trasgressione del l.m.
- a) *Isobath map of the Highstand Systems Tract. (sheet NK 33-1-2 Ancona); b) Isobath map of the Transgressive Systems Tract; c) Isochrone map of the transgressive s.l. surface.*

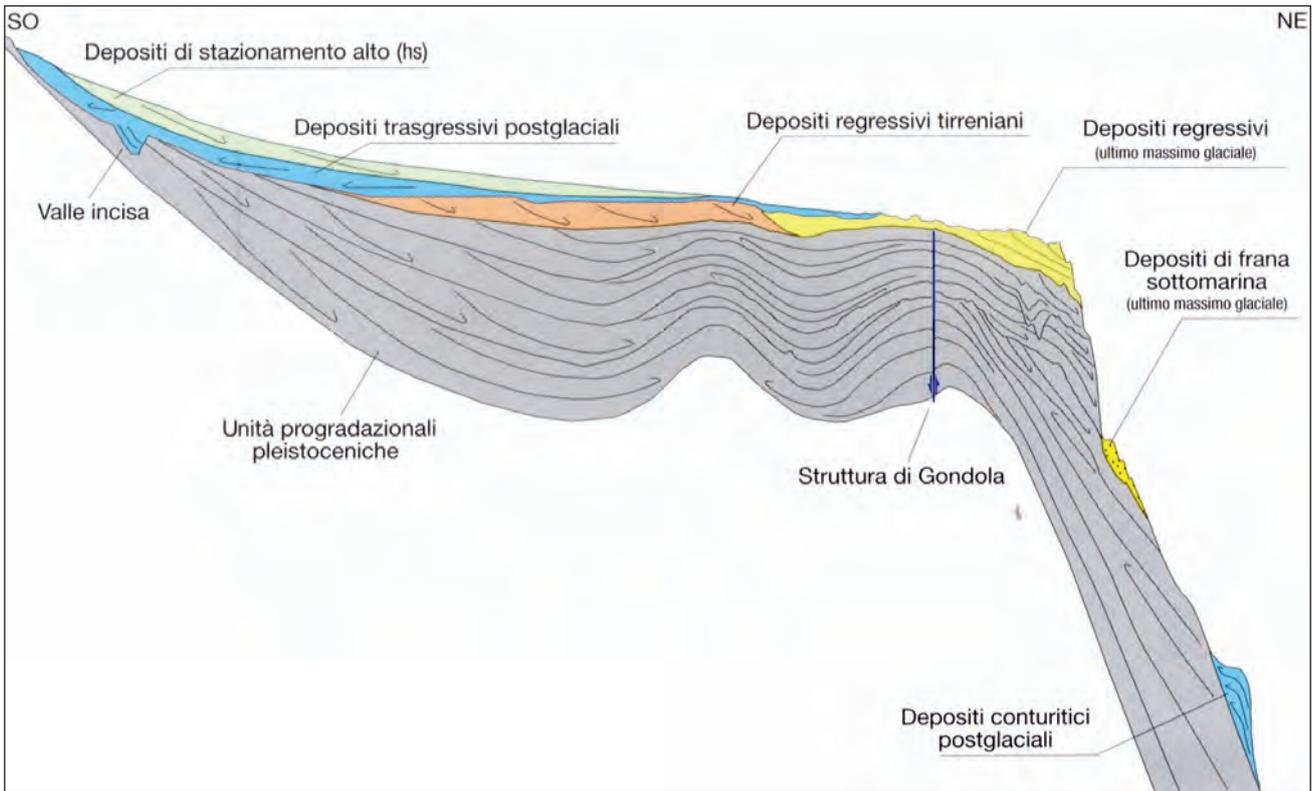


Fig. 20 – Schema dei rapporti stratigrafici delle unità tarso pleistoceniche-oloceniche (F. NK 33-8/9 Bari superficiale).
 - Scheme of stratigraphic relationships of the late Pleistocene-Holocene units (NK 33-8/9 Bari seafloor sheet).

Le carte (fig. 21) riportano i depositi tarso-quadernari suddivisi, in base alle fasi principali dell'ultimo ciclo glacio-eustatico, in:

- sistemi di stazionamento alto *HST* (ultimi 5.000 anni ca.);
- sistemi trasgressivi *TST* (intervallo 18.000-5.000 anni ca.);
- sistemi di stazionamento basso *LST* (intervallo 25.000-18.000 anni ca.);
- sistemi di caduta del livello del mare *FST* (intervallo 125.000-25.000 anni ca.).

In alcuni casi i sistemi di caduta e di stazionamento basso del livello del mare non sono acusticamente separabili.

5.2.3. - Carta del sottofondo

Nelle carte geologiche del sottofondo alla scala 1:250.000 del Mare Adriatico sono rappresentate le unità "affioranti" al di sotto della base del Pliocene e le isocrone (in tempi doppi) della base della successione post-evaporitica; l'evoluzione tettono-stratigrafica dell'area è evidenziata da diagrammi crono-stratigrafici e da schemi tettono-stratigrafici basati principalmente sui dati dei pozzi per l'esplorazione petrolifera. Le formazioni che raggiungono questa paleo-superficie appartengono a una deposizione prevalentemente carbonatica di piattaforma di margine passivo, che nel Giurassico inferiore si suddivide in due domini paleogeografici: di piattaforma e di bacino pelagico. I raccordi della catena appenninica a partire dall'Oligocene provocano una flessurazione della placca adriatica che determina nell'area di bacino i primi arrivi di materiale silicoclastico e l'in-

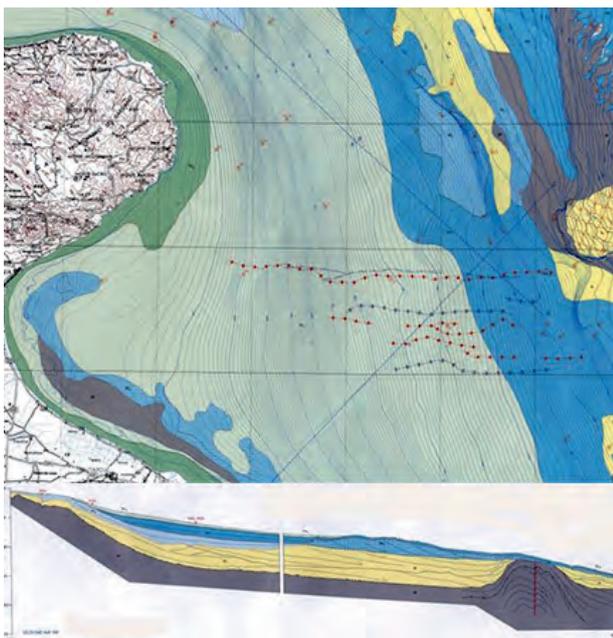


Fig. 21 – Campo carta e sezione sismica interpretata del F. NK 33-8/9 Bari (superficiale).
 - Map and interpreted seismic profile of sheet NK 33-8/9 Bari (seafloor).

staurarsi del sistema orogenico di avanfossa-avampaese.

Le carte (fig. 22) descrivono le formazioni distribuite al di sotto della successione post-evaporitica e rappresentano:

- la carta delle isocrone della superficie che marca la base della successione pliocenico-quadernaria;
- le strutture tettoniche che interessano tale superficie;
- le sezioni geologiche e gli schemi stratigrafici che illustrano l'evoluzione geologica di lungo periodo e l'attuale assetto strutturale;
- dove presente, è riportata anche l'attività sismica e le sue relazioni con le strutture tettoniche.

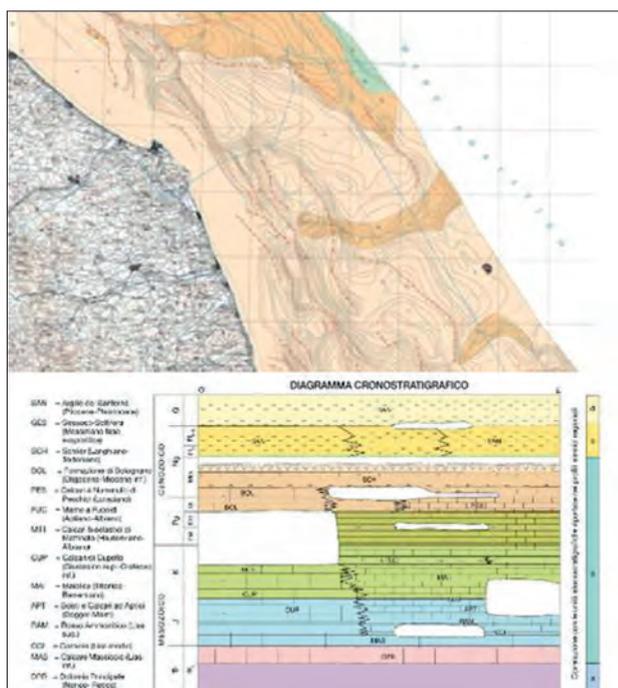


Fig. 22 – Campo carta e diagramma cronostratigrafico del F. NK 33-1-2 Ancona (sottofondo).
– Map and chronostratigraphic diagram of sheet NK 33-1-2 Ancona (subbottom).

5.2.4. - Linee guida e confronto con i Paesi confinanti

Le linee guida e i criteri di rilevamento per questo tipo di cartografia sono state redatte dall'ISMAR-CNR di Bologna, affiancato dal Servizio Geologico per definire gli standard cartografici (FABBRI *et alii*, 2002). La scala delle carte è risultata la più idonea per definire con il maggior dettaglio possibile l'assetto geologico-strutturale dell'area sommersa del territorio nazionale e, soprattutto, per costituire una base di confronto utile, riguardo alla stessa tematica, con Paesi confinanti sul lato orientale dell'Adriatico.

Dal 2013 il Servizio Geologico è coinvolto, insieme agli altri Servizi geologici europei, in un Progetto (EMODNet Geology, <http://www.emodnet.eu/geology>) per la raccolta sistematica ed armonizzazione dei dati geologici esistenti dei mari europei. Nell'ambito di tale Progetto è stato creato un Gruppo di lavoro con Slo-

venia, Croazia, Montenegro, Albania, OGS e ISMAR, per fornire un prodotto unico ed omogeneo di dati geologici del mare Adriatico, che ha messo a frutto e implementato la cartografia finora prodotta alla scala 1:250.000 (fig. 23).

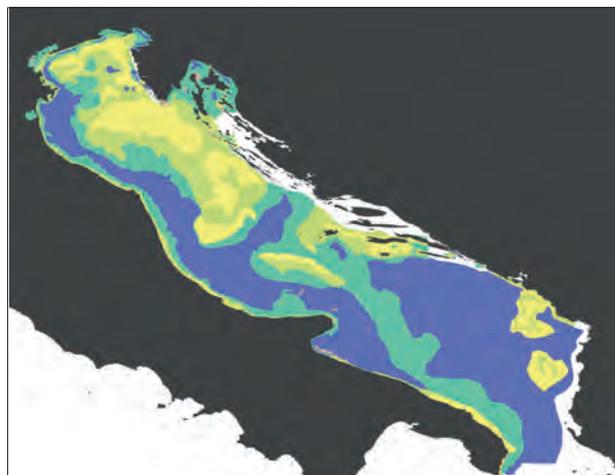


Fig. 23 – Carta dei sedimenti superficiali del Mare Adriatico – Elaborazione finalizzata al Progetto EMODNet Geology: <http://www.emodnet.eu/geology>.
– Sea floor sediments of the Adriatic Sea – Ongoing elaboration aimed at the EMODNet Geology Project: <http://www.emodnet.eu/geology>.

6. – LE CARTE GEOLOGICHE DI SOTTOSUOLO: DAI FOGLI CARG ALLE MAPPE DERIVATE DA MODELLI 3D

D'AMBROGI C. (*)

Fin dai primi passi della geologia come scienza moderna, la capacità di conoscere, descrivere e comunicare l'assetto geologico del sottosuolo ha rappresentato una delle principali sfide per i geologi. Rappresentazioni sorprendentemente efficaci delle strutture geologiche al di sotto della superficie topografica si trovano in numerosi trattati di scienze naturali e in alcune delle pubblicazioni più antiche e significative della geologia moderna (fig. 24) come *Theory of the Earth* di J. HUTTON (1795).

Per più di un secolo (es. SPADA LAVINI & ORSINI, 1867; MENEGUZZO, 1868), panorami geologici, tagli teoretici, spaccati e sezioni (fig. 25) hanno costituito lo strumento di rappresentazione e comunicazione più diffuso della geologia di sottosuolo; dati raccolti sul terreno e osservazioni sull'andamento degli strati, spesso grazie a panorami in zone montuose, costituivano gli unici vincoli disponibili per ipotizzare la geometria e i rapporti delle strutture nel sottosuolo.

Tuttavia quasi mai, se non accidentalmente, tali rappresentazioni includevano aree pianeggianti; queste

(*) Servizio Geologico d'Italia, ISPRA

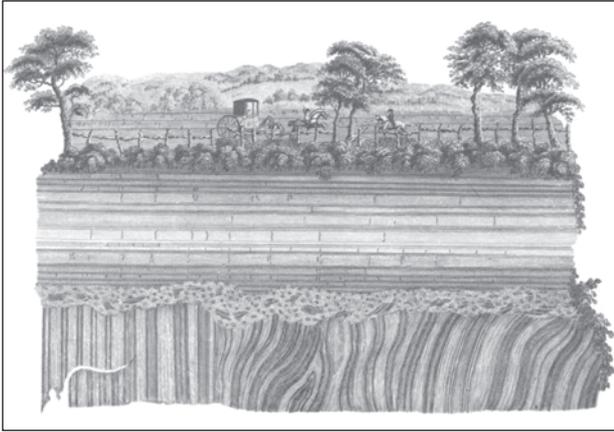


Fig. 24 - Incisione utilizzata da James Hutton nel volume I di *Theory of the Earth*, plate III (1795). Il disegno raffigura la superficie di *unconformity* tra gli strati verticali del Siluriano e le sovrastanti arenarie a giacitura orizzontale del Devoniano (*Upper Old Red Sandstone*). Il disegno è stato realizzato da John Clerk of Eldin (1787) presso Jedburgh.
 - Engraving by John Clerk of Eldin (1787) of the Hutton's unconformity used in volume I of *Theory of the Earth*, plate III. The artwork represents the unconformity between Silurian vertical strata and the above horizontal Devonian sandstones (*Upper Old Red Sandstone*), near Jedburgh. (CC-BY SA).

zone, dove “l'essenziale è invisibile agli occhi” (DE SAINT-EXUPÉRY, 1943), sono state quasi del tutto ignorate dai geologi per più di un secolo per l'impossibilità, in assenza di strumenti di indagine moderni e tecnicamente avanzati, di investigare ciò che non risultava visibile all'osservazione diretta.

Solo in tempi più recenti geologi e cartografi, in larga parte spinti dalle crescenti necessità di risorse mi-

nerarie, hanno dovuto orientare la loro attenzione anche alle vaste aree di pianura nel cui sottosuolo erano presenti giacimenti minerali (es. carbone, minerali, idrocarburi); la necessità di sviluppare metodi per la rappresentazione della distribuzione, della profondità e dell'assetto strutturale di unità geologiche di interesse economico è diventata sempre più pressante.

A partire dalla fine del 1800, e ancor di più nei primi decenni del 1900, diventano sempre più comuni carte tematiche (minerarie e delle materie prime) che tentano di rappresentare la geologia di sottosuolo.

Sono degli esempi particolarmente significativi le sezioni e mappe allegate al volume “*Les bouillères en 1867*” di BURAT (1868) (fig. 26) e la “*Carte Générale des Mines de Belgique – Bassin bouillère de Charleroi*” (ICM, 1883).

Quest'ultima è una vera e propria “carta geologica” di sottosuolo che mappa, ad una quota di 150 metri sotto il livello del mare, l'andamento e l'estensione dei livelli a carbone e delle “*failles ou cassures*” ossia le “faglie o interruzioni” che li dislocano (fig. 27).

Queste prime mappe si basavano prevalentemente sull'osservazione diretta, effettuata in pozzo e galleria, oltre che su quanto desumibile dalle zone di affioramento; esse prevedevano già simbologie differenti per i livelli direttamente osservati, per quelli ipotizzati in vicinanza di controlli diretti e per quelli ipotizzati, ma a notevole distanza o in assenza di controlli diretti (fig. 27), fornendo di fatto anche un'indicazione sull'incertezza dei limiti stessi.

Le mappe di sottosuolo sono cominciate a diventare uno strumento diffuso ed utilizzato in modo continuativo a partire dai primi decenni del 1900, con l'intensi-

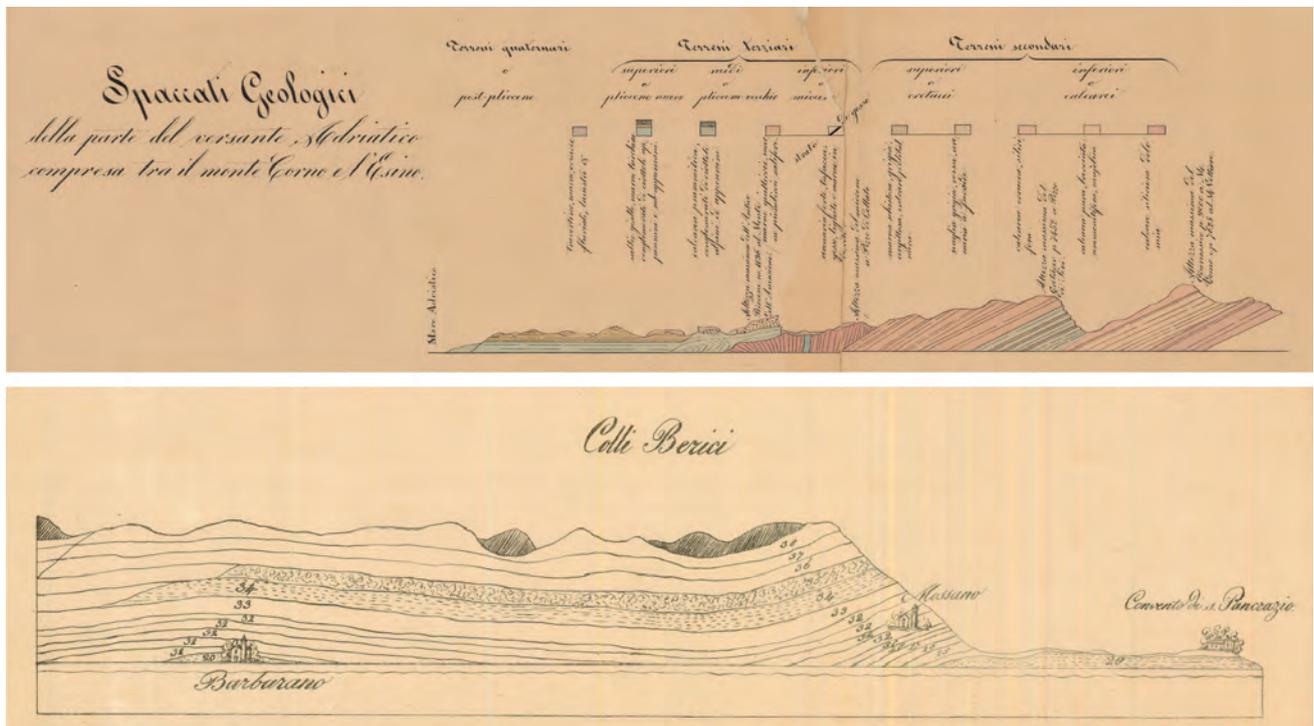


Fig. 25 - In alto, spaccato geologico dal monte Vettore al mar Adriatico, attraverso il Monte dell'Ascensione (SPADA LAVINI & ORSINI, 1867); in basso sezione attraverso i Colli Berici (MENEGUZZO, 1868). Collezioni cartografiche, Servizio Geologico d'Italia - Biblioteca ISPRA.
 - Above, geological cross section from Monte Vettore to Adriatic Sea, through Monte dell'Ascensione; below, schematic geological cross section through Colli Berici. Kindly permission ISPRA Library.

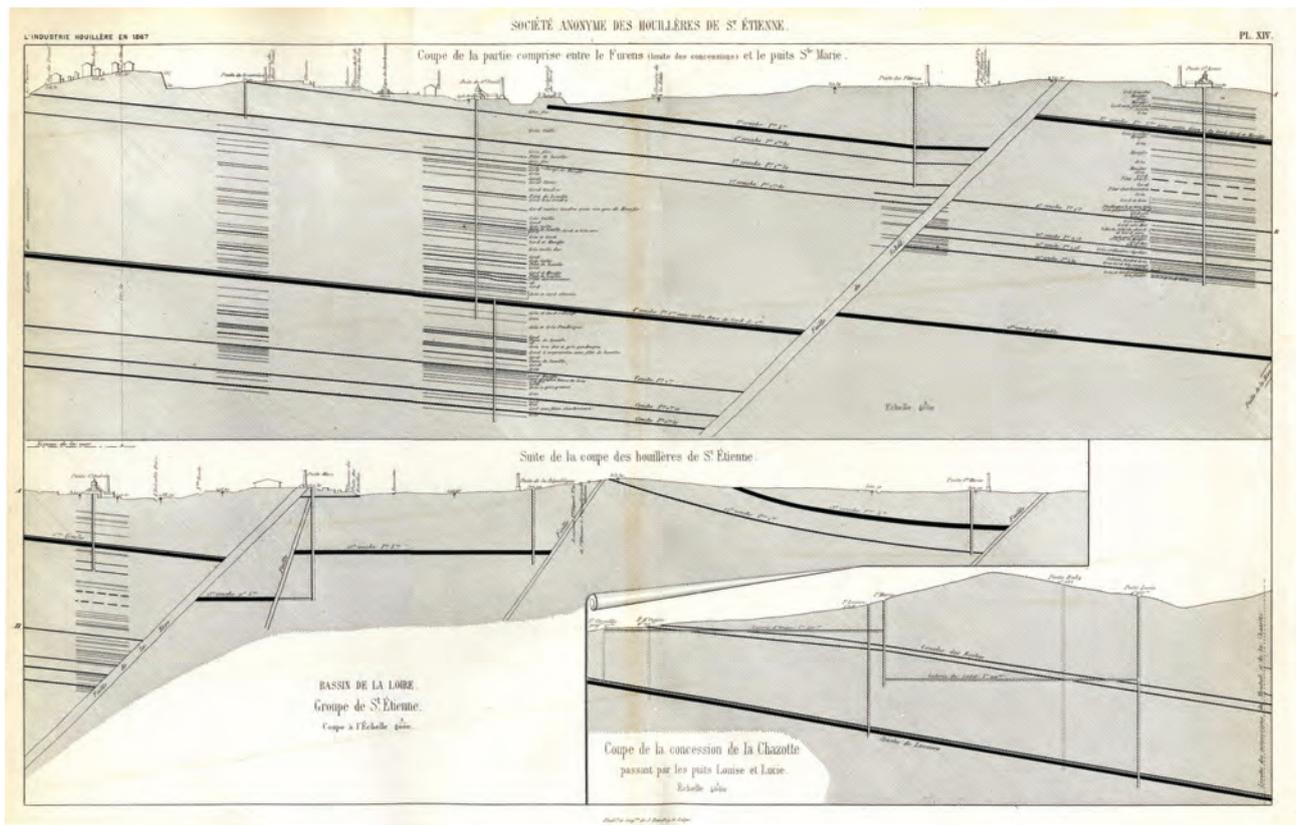


Fig. 26 – Esempi di sezioni geologiche attraverso giacimenti a carbone, contenute in BURAT (1868). Collezioni cartografiche, Servizio Geologico d'Italia-Biblioteca ISPRA.

– *Geological cross sections of coal fields, reported in BURAT (1868). Kindly permission ISPRA Library.*

ficarsi delle attività di ricerca delle risorse minerarie e degli idrocarburi, anche grazie allo sviluppo di metodi geofisici di indagine indiretta capaci di sopperire, soprattutto nelle aree pianeggianti, all'assenza di dati diretti sulle caratteristiche delle unità geologiche.

Mappe strutturali, mappe delle isobate e delle isopache, sono diventate lo strumento di base per la conoscenza del sottosuolo limitandosi, tuttavia, a descrivere porzioni di territorio relativamente ristrette in corrispondenza dei giacimenti e mappando solo orizzonti di interesse economico.

La prima mappa di sottosuolo a scala nazionale è rappresentata dalla Modello Strutturale (CNR, 1990) che include le isobate della base del Pliocene fornendo un'immagine generale dell'assetto strutturale del bacino di avana fossa Padano-Adriatico.

Successivamente sono state realizzate carte di sottosuolo, a scala regionale, con finalità applicative (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998; REGIONE LOMBARDIA & ENI DIVISIONE AGIP, 2002) nelle quali vengono mappati "gruppi acquiferi"; in questo caso si tratta di orizzonti e corpi geologici che raggiungono profondità massime di circa 1.000 metri. In tempi più recenti analogo approccio è stato proposto anche per il settore piemontese della Pianura Padana (IRACE *et alii*, 2009). Un sostanziale passo in avanti si realizza con l'avvento

del Progetto CARG; per la prima volta la carta geologica ufficiale dello Stato include, tra i suoi prodotti, fogli geologici di sottosuolo, che accompagnano, nelle grandi aree di pianura, i fogli geologici s.s.

La realizzazione di questi nuovi prodotti cartografici, sebbene non obbligatoria, è stata estesamente adottata per i fogli geologici della Pianura Padana: Milano, Salsomaggiore Terme, Parma Nord, Guastalla, Codigoro, Parma Sud, Reggio nell'Emilia, Modena, San Giovanni in Persiceto, Poggio Renatico, Portomaggiore, Comacchio, Sassuolo, Casalecchio di Reno, Bologna, Lugo, Ravenna, Faenza, Forlì-Cervia, Cesena, Rimini, Portogruaro, Venezia, Chioggia-Malamocco⁽¹⁾.

Il contenuto di questi fogli non è omogeneo; di volta in volta viene rappresentato, generalmente tramite isobate, l'elemento geologico di sottosuolo maggiormente significativo o di interesse per l'area (es. base di sintema, profondità del tetto di depositi grossolani quali ghiaie o sabbie) (fig. 28). Il campo carta è accompagnato da sezioni geologiche, talora a forte esagerazione verticale per consentire una rappresentazione di maggiore dettaglio, vincolate da carotaggi appositamente eseguiti nell'ambito del Progetto CARG, o da altri pozzi, carotaggi e indagini geognostiche. Se pubblicamente disponibili vengono rappresentate anche linee sismiche utili per la correlazione delle unità affioranti con quelle di sottosuolo.

⁽¹⁾ <http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/index.html>

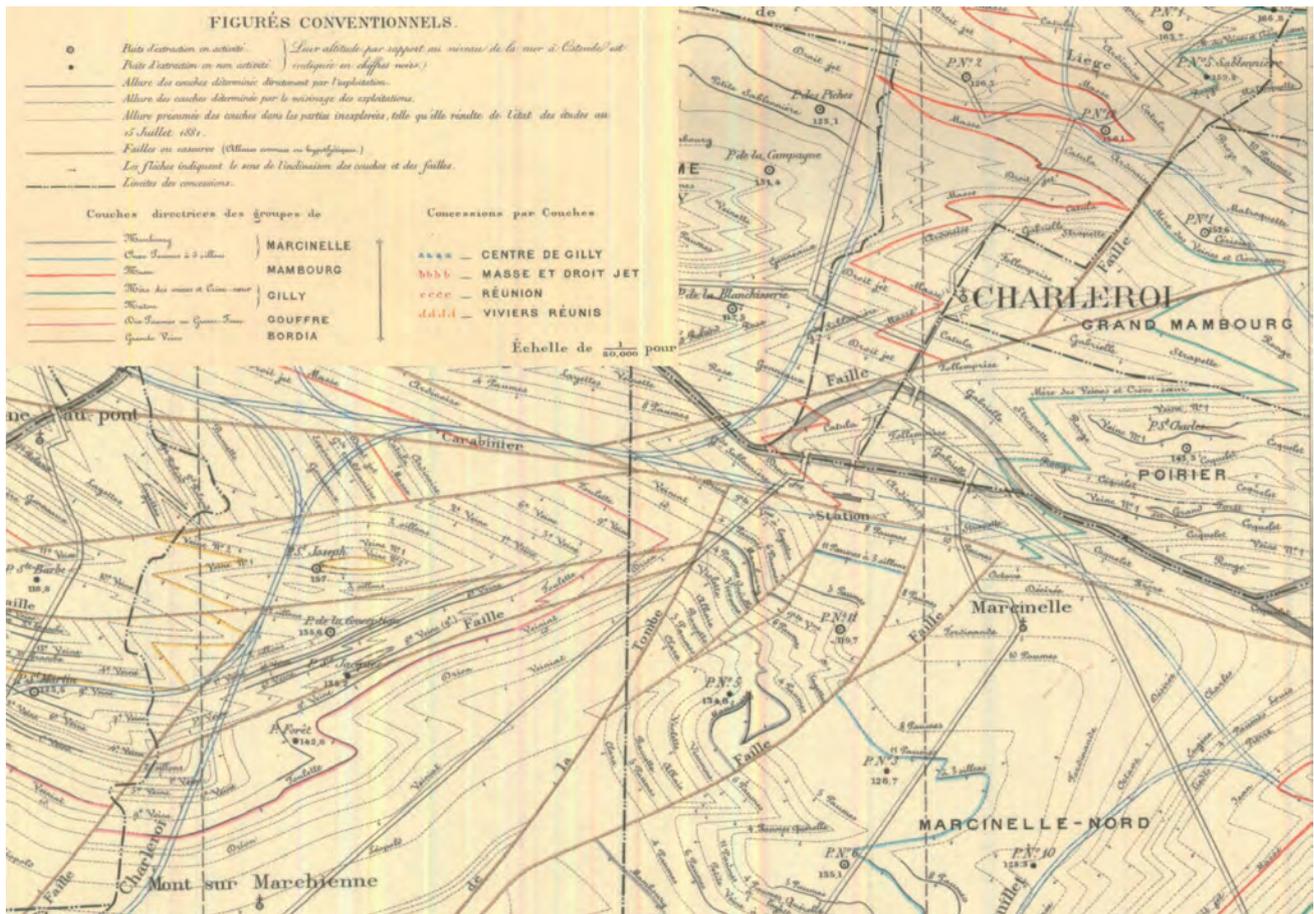


Fig. 27 – Stralcio della carta di sottosuolo del bacino carbonifero di Charleroi (ICM, 1883). La carta rappresenta l'andamento degli orizzonti a carbone ad una profondità di 150 metri. Collezioni cartografiche, Servizio Geologico d'Italia - Biblioteca ISPRA.
– Detail of the subsurface map of the Charleroi coal field (ICM, 1883). The map shows the coal layers at depth of 150 m. Kindly permission ISPRA Library.

Lo sviluppo delle più moderne tecniche di elaborazione dei dati e di modellazione geologica tridimensionale ha dato un ulteriore importante impulso alla conoscenza, descrizione e rappresentazione del sottosuolo. La possibilità di integrare in modo veloce e consistente grandi quantità di dati, grazie a strumenti *hardware* e *software* dedicati, ha reso possibile la ricostruzione tridimensionale di dettaglio di aree sempre più vaste del territorio nazionale.

Il Servizio Geologico d'Italia ha sviluppato, a partire dal 1999, parallelamente alla realizzazione del progetto di cartografia geologica nazionale, specifiche attività di modellazione geologica 3D⁽²⁾ implementando *workflow* di costruzione per diverse tipologie di dati di partenza (DE DONATIS *et alii*, 2002; D'AMBROGI *et alii*, 2010; CHIARINI *et alii*, 2014; ISPRA, 2015), affiancando analoghe attività svolte da Servizi geologici di altri paesi stranieri (es. *British Geological Survey – BGS*⁽³⁾ *Bureau de Recherches Géologiques et Minières – BRGM*⁽⁴⁾ *Geoscience Australia*⁽⁵⁾ *Bayerisches Landesamt für Umwelt – LfU*⁽⁶⁾).

I modelli geologici 3D prodotti nell'ambito di queste attività interessano contesti geologici e fisiografici molto diversi (da zone di catena a pianure alluvionali), sono caratterizzati da estensione areale e verticale molto differente (da pochi km² a copertura nazionale, da poche centinaia di metri a diverse decine di km) e utilizzati per applicazioni differenti (dalle ricostruzioni paleogeografiche, all'analisi e caratterizzazione di faglie attive, alla parametrizzazione dei volumi rocciosi) (es. MAESANO & D'AMBROGI, 2015; MAESANO *et alii*, 2015).

Rispetto alle tradizionali carte geologiche i modelli 3D presentano alcuni vantaggi sostanziali: i) l'integrazione di grandi quantità e tipologie diverse di dati; ii) il rapido aggiornamento del modello all'acquisizione di nuovi dati; iii) la possibilità di interrogazione ed estrazione "in automatico" di informazioni dedicate a specifiche esigenze (es.: tagli geologici a profondità definite dall'utente, calcolo dei volumi di corpi geologici di interesse applicativo, mappe delle deformazioni su specifici orizzonti geologici, mappe

⁽²⁾ <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/geoit3d-modellazione-e-visualizzazione-tridimensionali-dei-dati-geologici>

⁽³⁾ <http://www.bgs.ac.uk/services/3Dgeology/home.html>

⁽⁴⁾ <http://www.brgm.fr/activites/geologie/referentiel-geologique-france>

⁽⁵⁾ <http://www.ga.gov.au/data-pubs/interactive-3d-models>

⁽⁶⁾ http://www.lfu.bayern.de/geologie/3d_modelle/index.htm

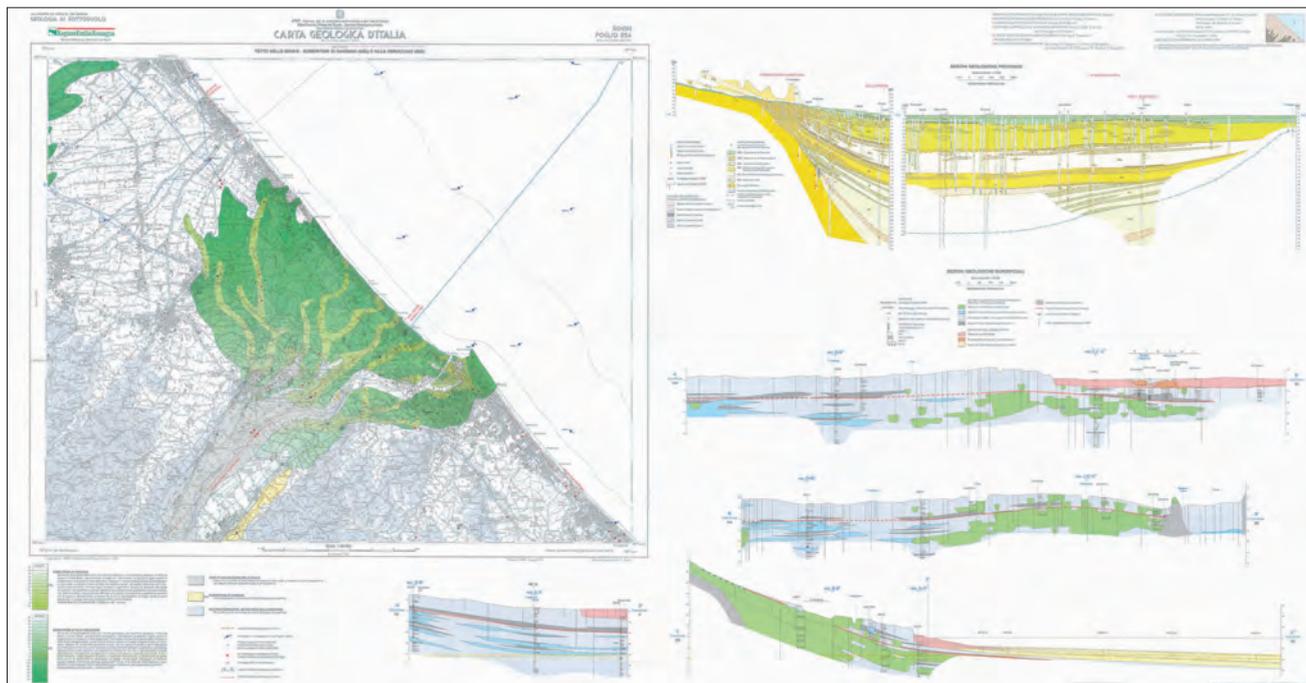


Fig. 28 – Geologia di sottosuolo. Allegato al Foglio 256 Rimini (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2005).
– *Subsurface geology. Enclosed to sheet 256 Rimini.*

degli spessori, ecc.); iv) la possibilità di fornire elaborazioni quantitative.

La produzione di mappe derivate dai modelli geologici 3D (es. mappe delle isobate di tutti gli orizzonti modellati, mappe geologiche a profondità costante) è stata testata dal Servizio Geologico d'Italia nell'ambito del Progetto europeo GeoMol⁽⁷⁾ attraverso lo sviluppo

di modalità di rappresentazione che consentissero di preservare al massimo il dettaglio presente nel modello geologico 3D e di rendere, pur in forma bidimensionale, il livello di complessità delle strutture, in particolare modo dei sistemi di *thrust* (o delle faglie a basso angolo) (fig. 29). I piani di *thrust* sono rappresentati attraverso la proiezione in mappa della por-

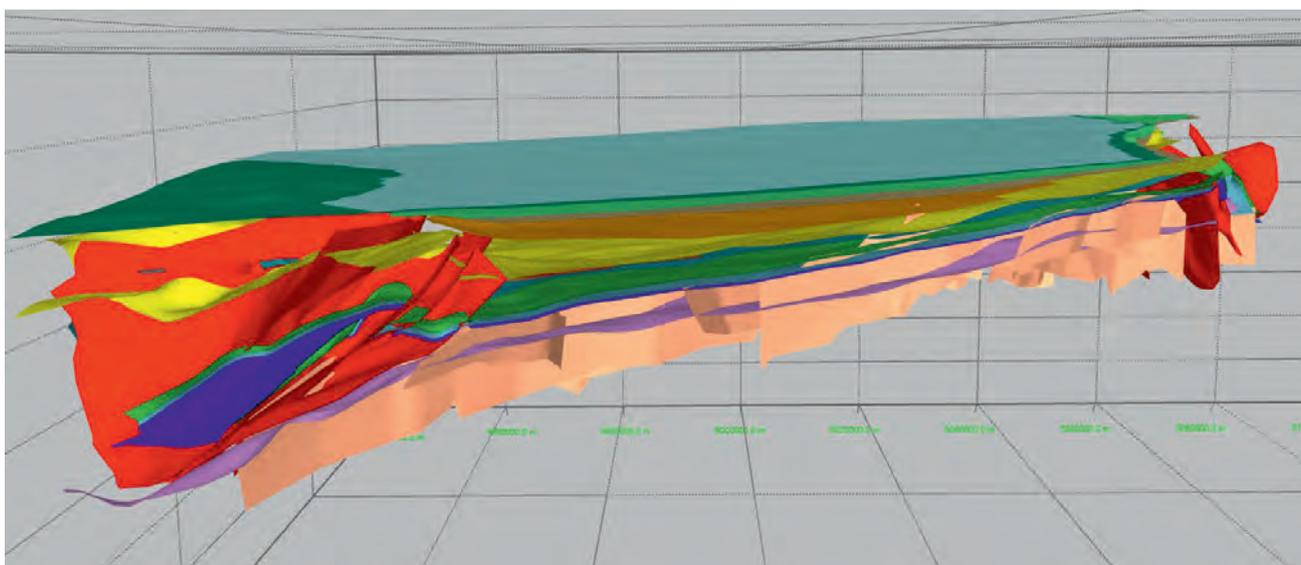


Fig. 29 – Modello geologico 3D della Pianura Padana centrale, visto da est. Le superfici in rosso sono i piani di *thrust*. Il modello è consultabile tramite un 3D Explorer (www.geomol.eu).
– *Geological 3D model of the central Po Plain, view from east. The red surfaces represent thrusts. The 3D model is accessible through a dedicated 3D Explorer (www.geomol.eu).*

⁽⁷⁾ www.geomol.eu

zione di piano di faglia compresa tra l'*upper tip* e l'*hangingwall cutoff* (fig. 30).

Il confronto tra la base del Pliocene rappresentata nel Modello Strutturale (CNR, 1990) e la medesima superficie derivata dal modello 3D e mappata secondo le modalità descritte evidenzia le differenze tra le due forme di rappresentazione (fig. 31).

Inoltre le mappe derivate dal modello geologico 3D contengono informazioni quali:

i) la non occorrenza dell'orizzonte mappato (perché non deposto o eroso);

ii) le aree nelle quali non è stato possibile modellare l'orizzonte con i dati disponibili;

iii) la posizione dei dati che hanno costituito vincoli per la costruzione del modello;

iv) la densità dei dati (fig. 31).

Per la prima volta carte di sottosuolo di aree estese del territorio nazionale sono rese pubblicamente disponibili in formato digitale tramite un Mapviewer dedicato: GeoIT3D – *3D model-derived maps of the Italian subsurface*⁽⁸⁾. Tutte le mappe sono accessibili tramite Web Map Services (WMS) e un catalogo di metadati.



Fig. 30 – Porzione del modello geologico 3D della Pianura Padana centrale con indicazione del *tip* delle faglie e dell'*hangingwall cutoff* rappresentati in mappa. L'orizzonte mappato è il *top* della Scaglia (ISPRA, 2015).

– Portion of the geological 3D model of the central Po Plain; the mapped fault upper tips and hangingwall cutoffs are indicated. The mapped horizon is the top of the Scaglia formation.

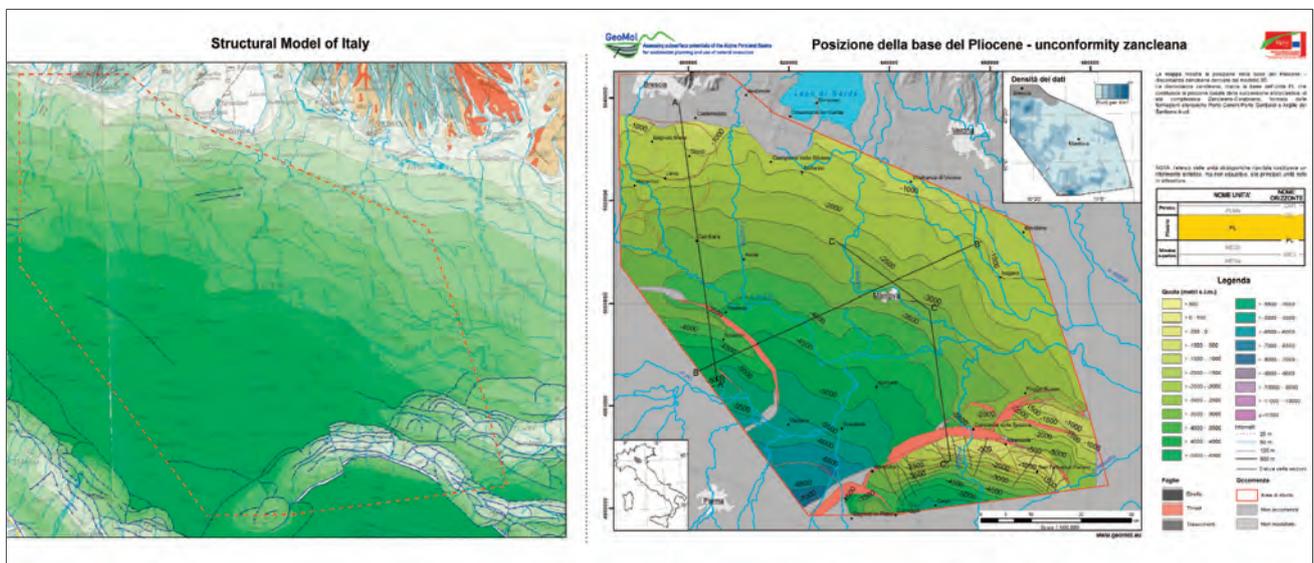


Fig. 31 – A sinistra, stralcio del Foglio 1 *Structural Model of Italy* (CNR, 1990). Le isobate rappresentano la profondità del Pliocene; il limite a tratteggio rosso indica la posizione dell'area mappata nella mappa a destra. A destra, mappa delle isobate della base del Pliocene – *unconformity zancleana* (ISPRA, 2015) derivata dal modello geologico 3D (fig. 29).

– To the left, detail of the *Structural Model of Italy* – Sheet 1. The isobaths represent the depth of Pliocene; the red dashed line is the boundary of the area mapped on the right figure. To the right, isobath map of the base of the Pliocene – Zanclean unconformity derived from the 3D geological model (fig. 29).

⁽⁸⁾ <http://sgi2.isprambiente.it/GeoIT3D/>

7. – LA CARTA GEOLOGICA CON ELEMENTI TEMATICI E CARTA DEI PAESAGGI SOTTOMARINI DEL PARCO NAZIONALE DEL CILENTO, VALLO DI DIANO E ALBURNI - EUROPEAN AND GLOBAL GEOPARK

LETTIERI M. (*), MURARO C. (*)

La *Carta Geologica con elementi tematici e Carta dei Paesaggi Sottomarini del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni - European and Global Geopark* è il prodotto di una convenzione stipulata tra il Servizio Geologico d'Italia ed il Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni. Questa collaborazione rientra nell'ambito delle pubbliche finalità affidate dal Legislatore ad entrambi gli Enti che hanno, quale interesse comune, lo svolgimento di attività volte alla valorizzazione, tutela e promozione del patrimonio geologico, alla realizzazione di prodotti conoscitivi del territorio, alla promozione dello sviluppo della conoscenza del territorio e dell'educazione ambientale (fig. 32). Dal 2010 il Parco ha ricevuto il titolo di Geoparco ed è stato inserito nell'*European and Global Geopark Network* patrocinato dall'UNESCO. Per rispondere alle finalità istituzionali sia in ambito nazionale che internazionale, l'Ente Parco ha ritenuto di doversi dotare di una carta geologica che ha costituito un importante documento scientifico-divulgativo e una base geologica di riferimento ufficiale delle attività istituzionali dello stesso Ente e che è stata presentata alla conferenza internazionale dei Geoparchi tenutasi nel settembre 2013.

Parallelamente questo prodotto cartografico è un esempio di sperimentazione delle possibili applicazioni ed elaborazioni dei dati prodotti nell'ambito del Progetto CARG da parte del Servizio Geologico d'Italia, anche a fini divulgativi e di pianificazione. Si è cercato, infatti, di realizzare uno strumento di facile utilizzo atto a favorire la divulgazione della geologia della parte emersa e di quella sommersa del Geoparco. La carta è stata redatta alla scala 1:110.000 sia in italiano che in inglese ed è disponibile on line sul sito dell'ISPRA. È stata inoltre, creata un'applicazione WebGIS, sia in italiano che in inglese, che permette di consultare la carta direttamente su Google Earth (<http://193.206.192.231/suolo/cilento/index.html>).

La realizzazione della carta geologica è avvenuta mediante un processo di elaborazione e di sintesi ragionata dei dati contenuti nei cinque fogli geologici alla scala 1:50.000, realizzati nell'ambito del Progetto CARG: fogli 502 Agropoli, 519 Capo Palinuro, 520 Sapri, oggetto della convenzione stipulata tra il Servizio Geologico d'Italia e la Regione Campania (ex lege 226/99), nei fogli geologici 503 Vallo della Lucania (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2005) e 504 Sala Consilina (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2010) alla scala 1:50.000, oggetto di un accordo di programma stipulato tra il SGI e l'Università di Napoli Federico II (ex lege 438/95). Per le aree del Parco non "coperte" da Cartografia CARG alla scala 1:50.000 sono stati utilizzati i



Fig. 32 - Immagine di copertina della Carta Geologica con elementi tematici e Carta dei Paesaggi Sottomarini del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni - European and Global Geopark.

- Cover image of the Geological Map with thematic elements and Submerged Landscapes Map of the National Park of Cilento, Vallo di Diano And Alburni - European and Global Geopark.

Fogli geologici alla scala 1:100.000 198 Eboli, 199 Potenza, 210 Lauria e dati di letteratura.

La carta geologica è stata arricchita degli elementi geomorfologici e idrogeologici ritenuti più rilevanti; sono stati rappresentati inoltre gli elementi di maggior pregio del patrimonio geologico e archeo-zoologico dell'area, ivi compresi alcuni dei geositi inventariati dal Parco. La carta è stata completata con la rappresentazione e la descrizione dei caratteri geologico-geomorfologici e bionomici delle aree sommerse prospicienti il Parco, descritti in termini di "paesaggi sottomarini". Anche in questo caso le elaborazioni sono state realizzate partendo dal rilevamento geologico CARG delle aree sommerse comprese nei fogli suddetti ed integrate da studi bionomici a cura del Dipartimento di Scienze per l'Ambiente dell'Università Parthenope di Napoli.

Dal punto di vista strettamente metodologico, per la progettazione del lavoro e la scelta dei criteri per effettuarlo, si è dovuto tener conto che il geoparco ricade in un settore dell'Appennino Meridionale caratterizzato da una notevole complessità stratigrafico-strutturale. Quest'area, infatti, presenta una grande variabilità di depositi, riferibili a differenti ambienti deposizionali, deformati da più fasi tettoniche, per cui si è reso necessario elaborare ed omogeneizzare una grande mole di dati e le loro differenti interpretazioni. In se-

(*) Servizio Geologico d'Italia, ISPRA

guito sono state effettuate scelte interpretative per accorpate tra loro i differenti depositi in base ai criteri adottati e alla scala di realizzazione della carta. Il principale criterio adottato per la stesura della carta geologica di sintesi e per l'organizzazione della legenda è stato quello di suddividere i differenti tipi di rocce e depositi affioranti nell'area del Parco in base al contesto geodinamico, quindi in funzione del momento della loro deposizione rispetto alla strutturazione della catena appenninica, cioè prima, durante o dopo l'orogenesi. Sono state così distinte: unità post-orogene; unità sin-orogene e unità pre-orogene.

I depositi post-orogene, rappresentati da un'estrema variabilità di sedimenti da marini a continentali depositatisi a partire dal tardo Pliocene, sono stati suddivisi in base ai processi di origine (in alluvionali, lacustri, detriti di falda, litorali, lagunari, depositi di versante, etc.) e in base all'età (in antichi e recenti e/o attuali). I depositi sin-orogene sono stati suddivisi in base all'ambiente deposizionale in: depositi di *thrust top* e depositi di avanfossa. I depositi pre-orogene sono stati suddivisi in unità interne ed esterne in base al dominio paleogeografico e in depositi di bacino pelagico, scarpata/bacino prossimale, piattaforma carbonatica e rampa carbonatica, in base all'ambiente deposizionale.

Al fine di rendere più agevole e fruibile la lettura della Carta, si è deciso di utilizzare numeri identificativi di litologie, associazioni di facies e/o di depositi per la codifica delle unità in carta e dei relativi tasselli di legenda. Per ogni unità di legenda è stata riportata una breve descrizione di litologie, spessori, limite inferiore e superiore, ambiente deposizionale ed età. Le unità sono state riportate dall'alto verso il basso, dalla più giovane alla più antica, rispettando il più possibile l'ordine di sovrapposizione geometrica; in tal modo l'ordine rispecchia i principali eventi geologici di importanza regionale che si sono susseguiti nel tempo.

Le unità geologiche ovviamente continuano anche in mare, dove mantengono la loro morfologia e struttura primarie. Nel corso del tardo Pleistocene queste sono state modellate e ricoperte dai sedimenti provenienti dalle aree emerse, a loro volta rielaborati dall'azione di onde e correnti. Queste unità sono colonizzate da comunità bentoniche che si integrano con la morfologia e la costituzione dei fondali e le modificano leggermente creando un paesaggio ecologico (INGEGNOLI, 2011) peculiare. Per la descrizione dei paesaggi sommersi, oltre ai dati provenienti dal rilevamento delle aree sommerse presenti nei fogli CARG, sono stati analizzati dati *Multibeam* di dettaglio e dati *Sidescan Sonar*, che forniscono informazioni sulla morfologia e sulla riflettività dei fondali, integrati da informazioni anche di tipo biologico provenienti da filmati ottenuti con telecamera filoguidata (ROV). Sono state individuate e descritte unità di paesaggio, ognuna caratterizzata in base all'analisi integrata del dato geologico, morfologico e biocenotico.

Gli elementi geomorfologici presenti in carta sono stati rappresentati come punti (tor, inghiottitoio, grotta), linee (orlo di falesia, tratto di corso d'acqua in forra, etc.) e poligoni (spianata carsica). I geositi

individuati all'interno del Parco del Cilento sono molto numerosi, ma nella carta è stata riportata solo una selezione dei quelli principali e di differente tipologia: idrogeologia (sorgenti), geomorfologia (terrazzi marini), paleontologia, carsismo e litologia. Anche le grotte sono molto diffuse nell'area del Parco, per cui sono state riportate solo quelle di origine carsica e significative dal punto di vista paleontologico, di queste alcune sono anche geositi come le Grotte di Castelcivita e le Grotte dell'Ausino.

La carta geologica è corredata da uno Schema cronostratigrafico, in cui le unità sono rappresentate rispetto al tempo geologico e da uno Schema tettonico rappresentativo della messa in posto delle principali unità tettono-stratigrafiche. Quest'ultime sono costituite da depositi formati in contesti geodinamici differenti, ma poi coinvolti in blocco nella deformazione compressiva, come ad esempio l'Unità tettonica Alburno-Cervati-Pollino che comprende sia depositi carbonatici pre-orogene che depositi di avanfossa sin-orogene. Lo schema tettonico rappresenta un'ulteriore sintesi dei dati riportati nella carta e fornisce una maggiore completezza alle informazioni sulla tettonica.

Nel retro della Carta sono state inserite la *Carta dei paesaggi sottomarini dell'area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate* alla scala 1:30.000, una sperimentazione cartografica che ha consentito di rappresentare tutti gli elementi geologici, morfologici e biologici utili alla caratterizzazione del paesaggio sottomarino per rendere immediatamente leggibile "l'architettura" dei fondali marini e una *Carta idrogeologica del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni* alla scala 1:240.000, nella quale sono rappresentate le caratteristiche idrogeologiche del territorio del Parco, le unità idrogeologiche, gli acquiferi e i loro rapporti idrogeologici, le caratteristiche e la tipologia delle falde acquifere.

Nel retro della carta è stata riportata una breve spiegazione degli scopi del lavoro e delle metodologie adottate, un inquadramento geologico molto sintetico, la descrizione delle differenti unità litostratigrafiche riportate in carta, una breve trattazione della grotte di interesse paleontologico e dei geositi e, come detto, due carte tematiche di approfondimento quali: la Carta idrogeologica e la Carta dei paesaggi sottomarini dell'area marina protetta di Santa Maria di Castellabate alla scala 1:30.000.

La carta idrogeologica è una sintesi delle principali caratteristiche idrogeologiche dell'area del geoparco. Gli elementi salienti rappresentati sono: le sorgenti, distinte in funzione della portata e dell'eventuale utilizzazione, i complessi idrogeologici e le principali direttrici del flusso idrico sotterraneo. I complessi idrogeologici sono stati individuati mediante l'analisi delle caratteristiche litologiche e di facies delle rocce e dei depositi affioranti nell'area del Parco, nonché dei loro rapporti spaziali e giaciture. L'analisi del contesto geodinamico, del dominio paleogeografico, dell'ambiente deposizionale e dell'assetto strutturale unita alla caratterizzazione idrogeologica in termini di strutture e/o unità idrogeologiche, ha permesso di delineare i probabili schemi di circolazione idrica sotterranea.

Per descrivere con un buon dettaglio l'insieme delle componenti biologiche e fisiche, la cui stretta correlazione concorre a delineare il paesaggio sommerso nella sua diversità e complessità, si è stabilito, in accordo con la funzione divulgativa che il Parco ha richiesto per questa carta, di rappresentare anche una Carta dei paesaggi sottomarini dell'area marina protetta di Santa Maria di Castellabate alla scala 1:30.000. Quest'area è di grande interesse per il turismo conoscitivo subacqueo, per la sua biodiversità e la presenza di faune particolari (ad es. la tartaruga marina *Caretta caretta*). Anche ad una scala di maggior dettaglio si può mantenere l'approccio multidisciplinare che è alla base di questa cartografia sperimentale, con gli stessi indicatori: geologia, morfologia, biologia. Le unità di paesaggio indeterminate possono rimanere le stesse passando dal generale al particolare, assicurando in tal modo la correttezza dell'approccio (fig. 33).

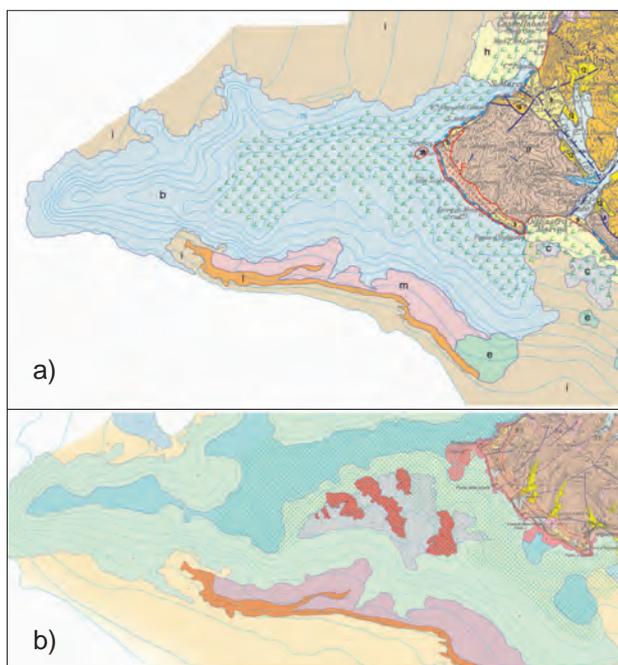


Fig. 33 – a) Particolare della carta alla scala 1:110.000: paesaggi sommersi al traverso di Punta Licosa; b) La stessa area alla scala 1:30.000.
– a) Part of 1:110.000 scale map: submerged landscapes of Punta Licosa; b) The same area at 1:30.000 scale.

Il progetto è stato realizzato da un *team* operativo istituito da ISPRA nell'ambito del Servizio Geologico d'Italia e del Dipartimento Difesa della Natura, con la collaborazione scientifica di esperti provenienti dal Dipartimento di Scienze della Terra, delle Risorse e dell'Ambiente – DiSTAR dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, dal Dipartimento di Scienze e Tecnologia dell'Università di Napoli Parthenope e dall'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero del CNR di Napoli.

8. – LA CARTOGRAFIA GEOTEMATICA SU RICHIESTA ESTERNA: IL PRG DI GAETA E LA CARTA DI PERICOLOSITÀ IN CONOIDE IN VALLE D'AOSTA

AMANTI M. (*), CHIESSI V. (*)

Il Servizio Geologico d'Italia, nel corso della propria ultrasecolare esistenza, ha svolto frequentemente opera di consulenza specifica, in ambito geologico applicativo, per Enti ed Amministrazioni della Repubblica. In particolare per il Ministero dell'Ambiente, la Presidenza del Consiglio dei Ministri, il Ministero/Dipartimento della Protezione Civile, il Ministero degli Interni, i vari corpi di polizia e Carabinieri, Il corpo delle Guardie Forestali e numerose Regioni ed Amministrazioni provinciali e Comunali.

Mentre in molti casi la consulenza professionale richiesta ha riguardato singoli casi di grande interesse o difficoltà tecnico-scientifica ma di limitata estensione (fig. 34) talvolta si è presentata la necessità ed opportunità di effettuare su richiesta studi di tipo areale, al fine di supportare attività di pianificazione di Enti locali.

In questo ambito si presentano due casi di studio, svolti dal Servizio Geologia Applicata ed Idrogeologia del Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia negli anni passati, con preparazione di cartografie geotematiche: lo studio geologico propedeutico alla variante del Piano regolatore Generale del Comune di Gaeta (LT) e la Carta di pericolosità su Conoide del comune di Nus, in valle d'Aosta.

8.1. - LO STUDIO GEOLOGICO PROPEDEUTICO ALLA VARIANTE DEL PIANO REGOLATORE GENERALE DEL COMUNE DI GAETA (LT)

Nel 1996, nell'ambito delle attività propedeutiche alla realizzazione della variante al PRG del Comune di Gaeta (LT) (fig. 35), l'allora Servizio Geologico d'Italia fu incaricato dalla Amministrazione Comunale di redigere lo studio geologico del proprio territorio (superficie di circa 28,5 km²).

La collaborazione sollecitata al Servizio Geologico riproponeva la consulenza dello stesso alla Regione Lazio, ai sensi dell'art. 107 del DPR n. 616/1977 inerente la trattazione delle pratiche attinenti al rilascio del parere di cui all'art. 13 della L. n. 64/74 sulla zonazione sismica; nell'ambito di tale consulenza il Servizio Geologico elaborò i "Criteri di valutazione atti a definire i requisiti minimi indispensabili per i terreni di fondazione in zone sismiche" della Regione Lazio, la quale con idonea circolare del 1982 li rese ufficiali.

Lo studio in questione rappresentava quindi per il Servizio Geologico un aggiornamento di linee guida elaborate nei primi anni '80, nella prospettiva di un continuo avanzamento delle conoscenze e dei metodi nel campo della geologia ambientale. Va da sé che per il

(*) Servizio Geologico d'Italia, ISPRA

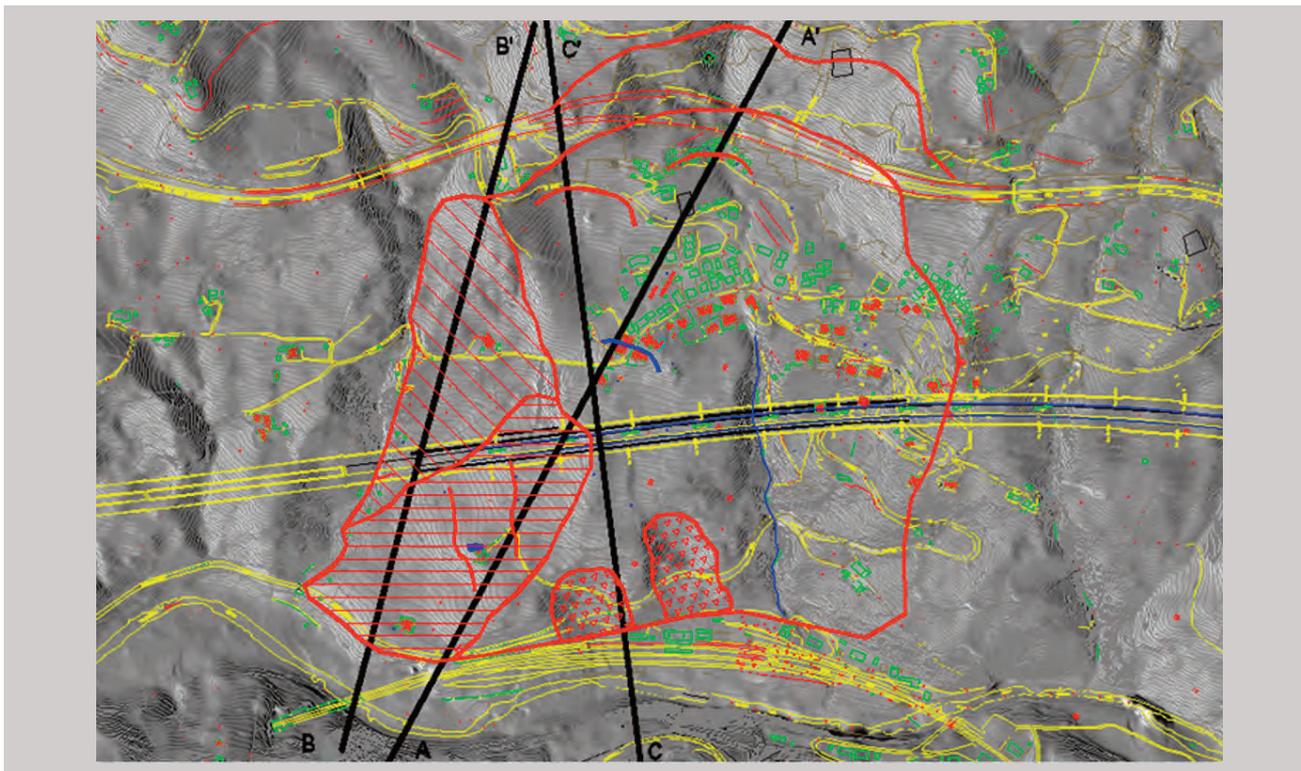


Fig. 34 - Esempio di cartografia morfologica legata alla presenza di deformazioni superficiali e frane presumibilmente indotte dallo scavo di una galleria nel versante. Variante di Valico (2012).

- An example of morphological map linked to superficial and deep seated deformations in a slope, presumably induced by a tunnel excavation. Central Appennines, Variante di Valico.



Fig. 35 - Inquadramento geografico del Comune di Gaeta, in provincia di Latina, nel Lazio meridionale.

- Geographical setting of Gaeta Municipality, Southern Lazio, Central Italy.

Servizio Geologico lo studio geologico per la variante al PRG di Gaeta ha rappresentato un caso isolato, una sorta di laboratorio idoneo all'applicazione di nuove metodologie e nello stesso tempo un utile aggiornamento professionale del personale sulle problematiche della geologia applicata alla pianificazione territoriale ed urbanistica, in particolare ai PRG.

Nell'ambito dello studio furono realizzate numerose cartografie geotematiche che, oltre ad essere strumenti

di conoscenza del territorio, furono utilizzate per l'elaborazione e la redazione di due carte di sintesi: la *Carta della stabilità - sintesi della pericolosità idrogeologica* e la *Carta della zonazione del territorio ai fini sismici*.

La scala di rilevamento dei dati di campagna e quindi di realizzazione delle carte di base fu di 1:5.000, mentre le carte tematiche di sintesi furono prodotte alla scala di 1:10.000.

In generale la realizzazione di carte di sintesi si basa essenzialmente sulla sovrapposizione e confronto di carte tematiche che rappresentano i vari fattori presi in considerazione; da tale operazione nasce la carta finale in cui le varie aree presenti sono raggruppate per caratteristiche omogenee, per maggiore chiarezza e leggibilità accompagnate dalla legenda esplicativa.

L'azione dei vari fattori non si esplica mai in maniera isolata, anzi i singoli fattori interagiscono tra loro per dare luogo a fenomeni o a comportamenti dei materiali interessati assai diversi a seconda delle circostanze. In questo caso una cartografia di sintesi dovrà tenere conto non solo della distribuzione dei singoli fattori ma anche della loro possibile sovrapposizione o interazione.

All'epoca della realizzazione del lavoro in questione era da poco iniziato l'uso dei *Sistemi Informativi Geografici (GIS)* che permetteva un eccezionale miglioramento nell'efficienza e nella efficacia del confronto tra carte tematiche georeferenziate e rendeva agevole la realizzazione di carte derivate, con una capacità assai maggiore che in passato.

In particolare il Servizio Geologico Nazionale usò allora all'avanguardia *ArcInfo ver.7.1*, che consentì di gestire in maniera assai agevole la grande mole di dati rilevati, permettendo inoltre l'export finale dei dati stessi e dei risultati delle elaborazioni in formati compatibili con il software utilizzato nel SIT del Comune di Gaeta.

I fattori presi in considerazione per la realizzazione della *Carta della stabilità - sintesi della pericolosità idrogeologica* furono: la litologia, le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni, la morfologia, la pendenza e la quota, l'assetto stratigrafico e strutturale, la presenza d'acqua in superficie e nel sottosuolo.

Per la raccolta dei dati il Servizio Geologico effettuò rilievi diretti di campagna, producendo cartografie di dettaglio, raccogliendo dati da stazioni puntuali, effettuando il censimento dei pozzi e dei punti d'acqua, eseguendo prospezioni sismiche a rifrazione, effettuando sondaggi con trivelle a mano, seguendo l'esecuzione di due sondaggi geognostici ed eseguendo prove di laboratorio su 19 campioni di materiali terrosi e 18 campioni di rocce.

La Carta della stabilità - sintesi della pericolosità idrogeologica derivò quindi in massima parte dalla sovrapposizione e dal confronto di tre carte:

- *Carta della caratterizzazione geomeccanica dei terreni affioranti,*

- *Carta delle condizioni idrogeologiche,*

- *Carta delle aree franose e soggette a crolli*

che contribuivano direttamente alla zonazione e di altre tre carte:

- *Carta delle aree con caratteristiche giaciturali e di fratturazione sfavorevoli*

- *Carta dei fattori geomorfologici attivi*

- *Carta dei geotipi*

che aggiungevano elementi utili alla carta di base.

La figura 36 mostra uno stralcio della carta mentre in tabella 1 è descritta la legenda con le relative prescrizioni suggerite.

Per quanto riguarda invece la *Carta della zonazione del territorio ai fini sismici* (fig. 37) si sottolinea che l'oggetto del lavoro non fu di realizzare una carta di microzonazione sismica, bensì uno studio quali-quantitativo da utilizzare come indirizzo alla pianificazione territoriale. L'elaborazione di una carta di microzonazione sismica comportava, e comporta tuttora, una valutazione della risposta dei siti alle sollecitazioni indotte da un evento sismico, per poterne prevedere gli effetti e fornire prescrizioni da applicare alle costruzioni. A tal fine avrebbe dovuto essere realizzata una campagna geognostica di

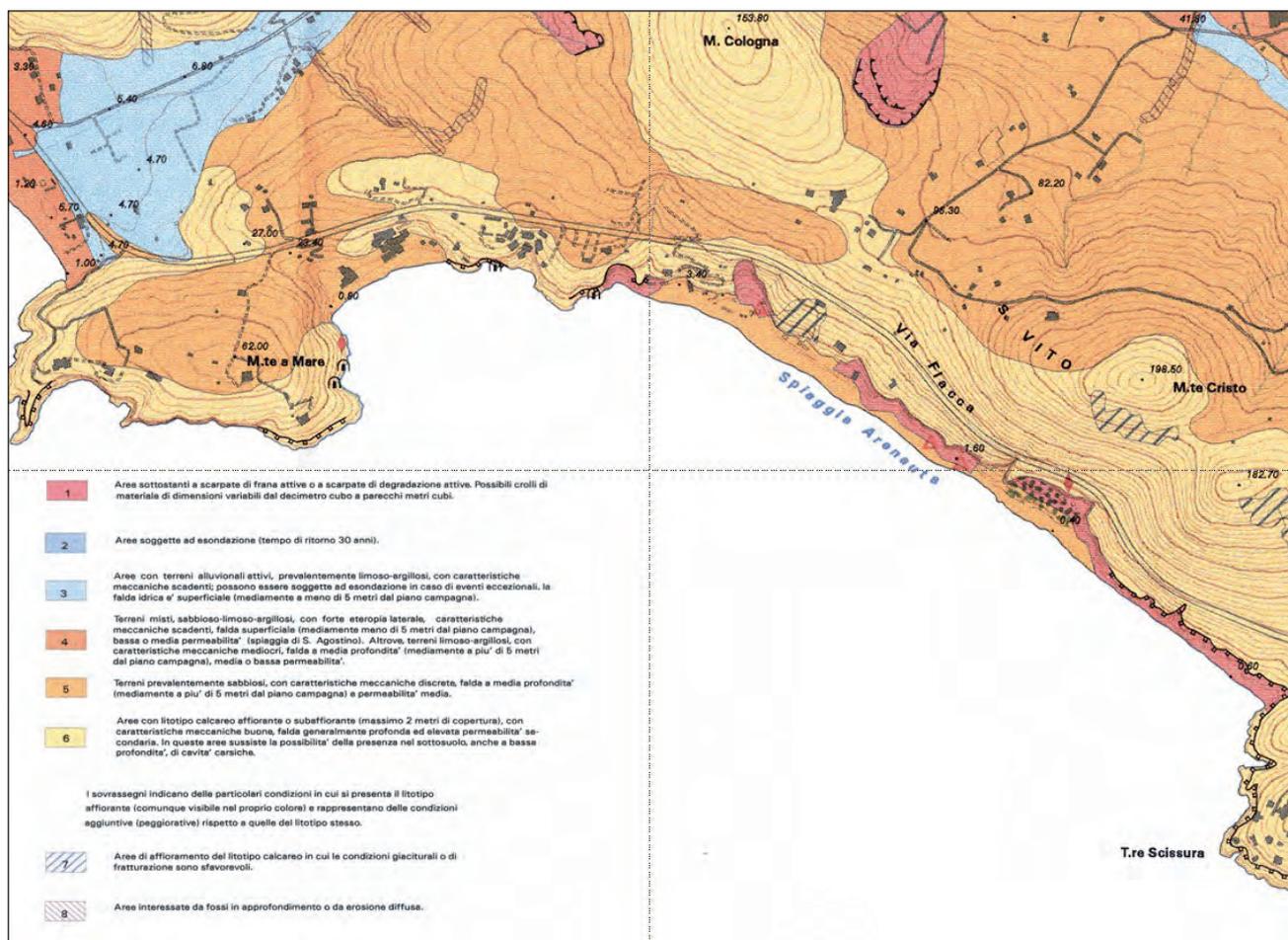


Fig. 36 - Stralcio della *Carta della stabilità - sintesi della pericolosità idrogeologica* in un'area costiera del territorio comunale e della relativa legenda che può essere meglio valutata nella tabella 1, insieme alle rispettive prescrizioni per gli insediamenti.

- An extract of the "Stability Map - Hydrogeological hazard synthesis" in a coastal area. Contents of the legend and related regulations can be easily read in Table 1.

Tab. 1 - *Legenda della “Carta della stabilità - sintesi della pericolosità idrogeologica” e relative prescrizioni.*
 - Legend of the “Stability Map – Hydrogeological hazard synthesis” and building regulations.

Voce di Legenda	Descrizione litotipi	Indicazioni sulle possibili attività e relative prescrizioni
Classe 1	Aree sottostanti a scarpate di frana attive o a scarpate di degradazione attive. Possibili crolli di materiale di dimensioni variabili dal dm ³ a parecchi m ³	<i>Escluso ogni tipo di insediamento stabile.</i>
Classe 2	Aree soggette ad esondazione (tempo di ritorno 30 anni).	<i>Escluso ogni tipo di insediamento stabile.</i>
Classe 3	Aree con terreni alluvionali attivi in affioramento, prevalentemente limoso-argillosi, con caratteristiche meccaniche scadenti; possono essere soggette ad esondazione in caso di eventi straordinari, la falda idrica è superficiale (mediamente a meno di 5 m dal p.c.), la permeabilità bassa.	<i>Insedimenti stabili sconsigliati, a meno di effettuazione di studi specifici relativi alla possibile esondabilità.</i>
Classe 4	Terreni misti, sabbioso-limoso-argillosi, con forte eteropia laterale, con caratteristiche meccaniche scadenti, falda superficiale (mediamente a meno di 5 m dal p.c.), bassa o media permeabilità (spiaggia di S. Agostino). Altrove terreni limoso-argillosi, con caratteristiche meccaniche mediocri, falda a media profondità (mediamente a più di 5 m dal p.c.), media o bassa permeabilità.	<i>Insedimenti consentiti purché preceduti da accurate indagini geognostiche volte ad appurare le condizioni locali, che possono variare anche in breve spazio. Possibili cedimenti differenziali.</i>
Classe 5	Terreni prevalentemente sabbiosi, con caratteristiche meccaniche discrete, falda mediamente profonda (mediamente a più di 5 m dal p.c.) e permeabilità media.	<i>Insedimenti consentiti, previa effettuazione delle normali indagini geognostiche.</i>
Classe 6	Aree con litotipo calcareo affiorante o subaffiorante (massimo 2 m di copertura), con caratteristiche meccaniche buone, falda generalmente profonda ed elevata permeabilità secondaria. In queste aree sussiste la possibilità della presenza nel sottosuolo, anche a bassa profondità, di cavità carsiche.	<i>Insedimenti consentiti; dovranno essere condotte indagini per valutare preventivamente la possibile presenza di cavità carsiche sotterranee, anche con acque circolanti. La presenza di cavità sotterranee al di sotto di una struttura, a seguito dell'azione erosiva e di dissoluzione del calcare da parte delle acque circolanti, può causare il collasso del tetto della cavità e quindi della struttura stessa.</i>
Classe 7 (Sopress.)	Aree di affioramento del litotipo calcareo in cui le condizioni giaciture o di fratturazione sono sfavorevoli.	<i>Valgono le indicazioni per il litotipo calcareo; inoltre, in caso di scavi, particolare attenzione dovrà essere fatta sulla stabilità delle pareti, sia durante che dopo lo scavo stesso. Le condizioni di franapoggio della giacitura infatti, favoriscono i crolli di blocchi o cunei di roccia, mentre l'intensa fratturazione, anche in condizioni giaciture favorevoli, trasforma la roccia massiva in una breccia, con conseguente diminuzione della stabilità.</i>
Classe 8 (Sopress.)	Aree interessate da fossi in approfondimento o da erosione diffusa.	<i>Oltre alle indicazioni per il litotipo sottostante, esiste la possibilità di scalfamento al piede di scarpate o di asportazione di suolo e terreno agricolo. Insediamenti in queste aree devono quindi tenere conto di questa eventualità e valutare la possibilità di eseguire delle opere di drenaggio o protezione del versante.</i>
Classe 9 (Sopress.)	Aree di particolare interesse geologico e/o naturalistico (geotopi).	<i>In queste aree, che presentano singolarità di tipo geologico o sono già aree protette (parco regionale di M. Orlando) dovrebbe essere evitato qualsiasi tipo di insediamento, con esclusione solo di quelli volti a valorizzare il geotopo stesso.</i>

rilevante entità con prove di laboratorio ed *in situ* distribuite su tutto il territorio comunale, non giustificabile comunque, vista la bassa sismicità dell'area (allora classificata in 2a categoria ai sensi della legge 64/74).

Il criterio seguito è stato quindi di quello di stabilire la sismicità di riferimento per un inquadramento generale dell'area e successivamente, utilizzando le carte rilevate per la carta di sintesi sopra descritta (carta litotecnica, geomorfologica, idrogeologica, delle pendenze), delimitare le aree che avessero una risposta sismica omogenea e le aree che potessero presentare problemi in prospettiva di un evento sismico di entità rilevante.

Furono inoltre prese in considerazione quelle fenomenologie connesse ai forti terremoti che possono generare rischi per l'ambiente ed il cui studio è indispensabile ai fini della pianificazione, quali liquefazioni o onde di tsunami; da ultimo fu redatta una legenda in cui si suggeriscono le possibili limitazioni all'uso del territorio, nonché una specifica geognostica finalizzata alla quantificazione del rischio. La carta fu presentata in un'unica tavola di sintesi in scala 1:10.000.

In conclusione fu chiaramente indicato al Committente che le indicazioni presenti sulle carte di sintesi realizzate erano da considerarsi come una lettura del

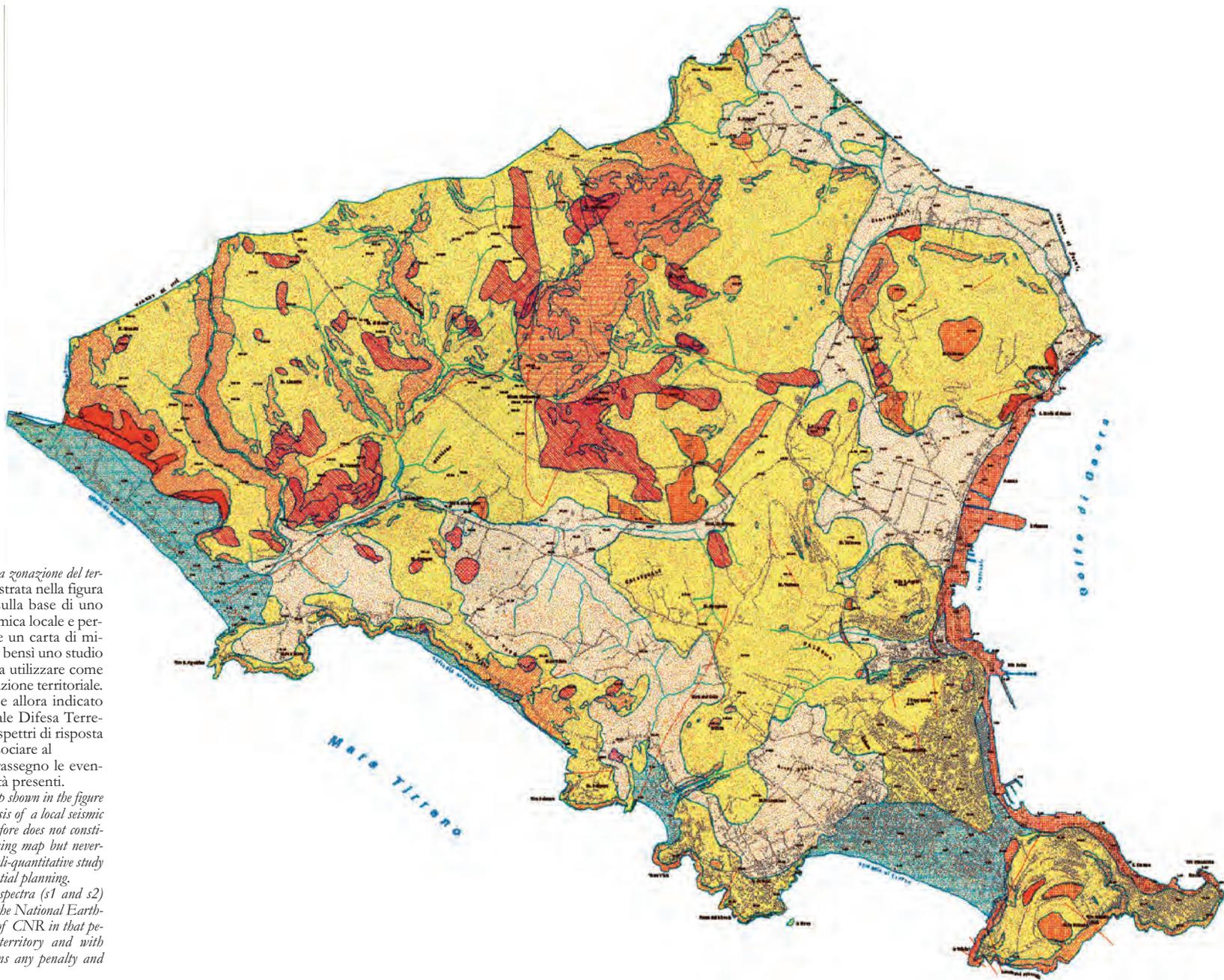


Fig. 37 - La Carta della zonazione del territorio ai fini sismici mostrata nella figura non è stata redatta sulla base di uno studio di risposta sismica locale e pertanto non costituisce un carta di microzonazione sismica bensì uno studio quali - quantitativo da utilizzare come indirizzo alla pianificazione territoriale. Sono esplicitati come allora indicato dal Gruppo Nazionale Difesa Terremoti del CNR i due spettri di risposta estremi S1 e S2 da associare al territorio ed in soprassegno le eventuali penalità e criticità presenti.

- The seismic zoning map shown in the figure was not drawn on the basis of a local seismic response study and therefore does not constitute a seismic micro-zoning map but nevertheless it represents a quali-quantitative study to be used to address spatial planning.

Two extremes response spectra (s1 and s2) are used as suggested by the National Earthquakes Defense Group of CNR in that period, to classify the territory and with different graphic patterns any penalty and critical issues are shown.

territorio allo stato attuale e non potevano sostituirsi interamente alle indagini di dettaglio, comunque necessarie, nella realizzazione di opere e infrastrutture; dovevano bensì essere recepite come idonei suggerimenti per la scelta delle tipologie e del grado di approfondimento delle indagini da effettuare, al fine di una valutazione della fattibilità e del rapporto costi/benefici delle opere stesse.

Lo studio venne adottato nella successiva variante al PRG di Gaeta.

8.2 - CARTA DI PERICOLOSITÀ SU CONOIDE DEL COMUNE DI NUS (AO)

Questo lavoro è stato effettuato nel 2001 dall'allora Servizio Geologico Nazionale a supporto della Regione Autonoma Valle d'Aosta ed in collaborazione con l'IRPI di Torino, nell'ambito di uno studio avente finalità di mettere a confronto diversi metodi per la valutazione della pericolosità da *debris flow* in zone di conoidi alpine e di proporre una metodologia di zonazione, sia all'interno del bacino che sulla conoide, che tenesse conto del maggior numero possibile di esperienze per una possibile utilizzazione a fini pianificatori.

L'area studiata ricade all'interno del territorio comunale di Nus (AO) (fig. 38) che, nei giorni 14-16 ottobre del 2000, al pari della intera regione, fu colpito da un evento alluvionale di rilevante entità (fig. 39).

La tipologia dei fenomeni di versante verificatesi è



Fig. 39 - Un'immagine del territorio comunale di Nus, all'apice del conoide sul quale si è verificato il massimo dei danni alle abitazioni con l'esondazione del Torrente San Barthelemy.

- An example of the damages caused by the debris flows occurred on the alluvial fan of Saint Barthelemy torrent, Nus municipality, during year 2000 flooding in North-West Italy.

stata prevalentemente del tipo *debris flow*; tali fenomeni hanno interessato una vasta porzione del territorio comunale, ricadente nel bacino idrografico del Torrente St. Barthelemy, affluente di sinistra della Dora Baltea, e la conoide alluvionale su cui sorge il nucleo abitato.

Gli approcci esistenti in letteratura e quelli derivanti dalla esperienza degli Autori, anche in altri contesti geologici e territoriali, hanno permesso di

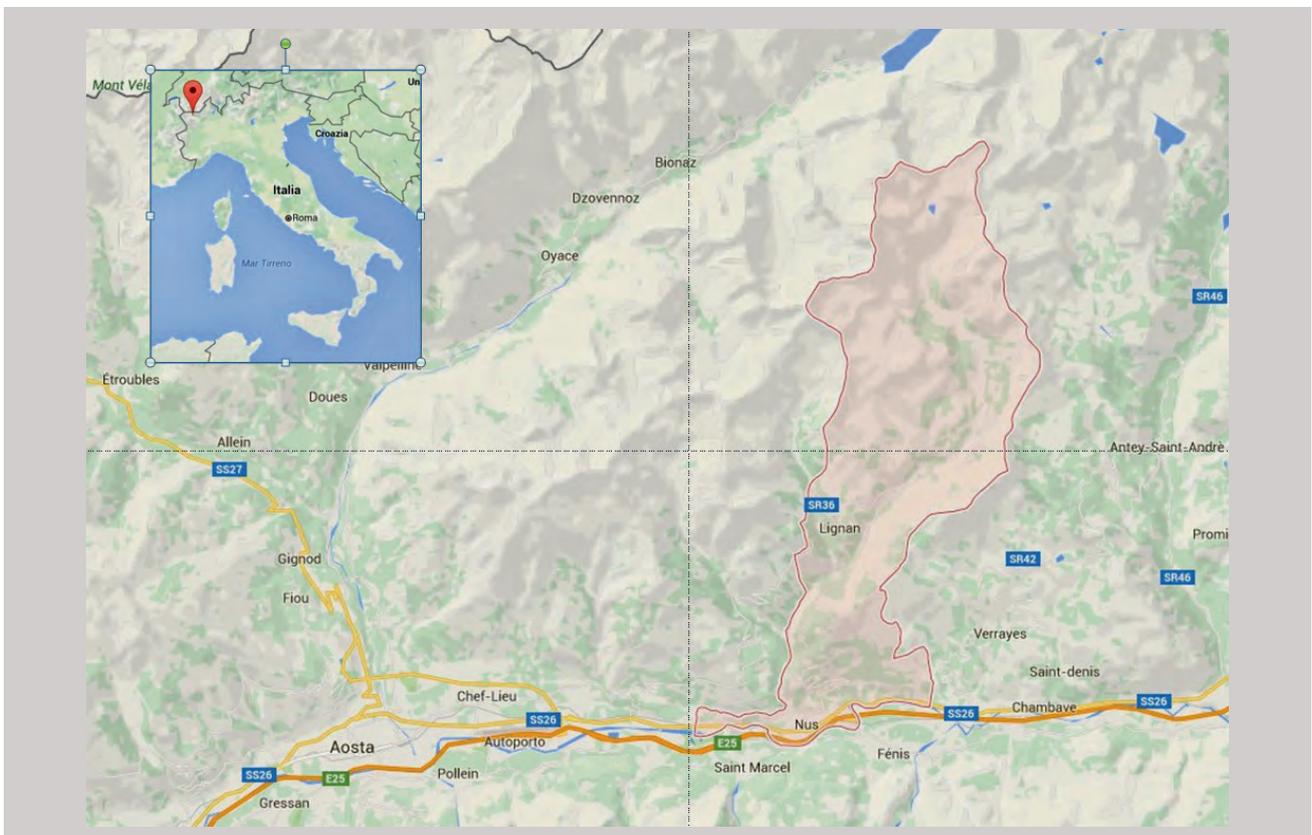


Fig. 38 - Inquadramento geografico del Comune di Nus, in provincia di Aosta, in Valle d'Aosta.

- Geographical setting of Nus Municipality, Valle d'Aosta, Northern Italy.

selezionare alcune metodologie che potessero essere agevolmente applicabili sul territorio in esame ma anche esportabili, con le opportune parametrizzazioni relative ai differenti contesti, in altre zone e fornire così indicazioni ai vari possibili utenti, istituzionali e professionali.

Il lavoro ha previsto una iniziale raccolta dei dati esistenti e la loro standardizzazione e introduzione in un sistema informativo territoriale; è seguita una fase di raccolta dati sul terreno, finalizzata a completare il rilevamento sul bacino ed a raccogliere i dati quantitativi necessari alla corretta parametrizzazione dei modelli proposti.

Infine si è svolta la fase di elaborazione dei dati e di applicazione dei modelli proposti fino al raggiungimento di risultati soddisfacenti e coerenti con la realtà terreno, validati attraverso una verifica sul terreno della congruità dei risultati ottenuti.

Come sempre accade in queste attività, il lavoro è stato effettuato da uno staff interdisciplinare che comprende professionalità che vanno dal rilevamento geologico-geomorfologico al rilievo geotecnico, con i relativi aspetti di caratterizzazione in laboratorio ed in sito, tecnici informatici ed esperti di modellazione numerica.

La Regione Valle D'Aosta ha messo a disposizione i dati topografici di base ed ha supportato i rilevatori nelle operazioni di campagna e gli esperti di modellazione nelle operazioni di valutazione dei risultati.

Il lavoro effettuato ha messo in luce una serie di aspetti rilevanti dal punto di vista tecnico: le metodologie empiriche geomorfologiche hanno dato risultati non affidabili per quanto riguarda la delimitazione delle

aree a rischio nel conoide, in quanto eccessivamente dipendenti da parametri in input difficilmente determinabili con precisione.

Al contrario, nel caso in esame, è risultata accettabile la simulazione ed analogamente la zonazione risultante da una metodologia idraulica completa quale quella utilizzata con il supporto di *software* quali *Flow 2D*.

Gli aspetti problematici relativi alla zonazione di conoidi interessati da *debris flows* sono connessi con la qualità e la quantità di informazioni necessarie affinché le simulazioni di evento abbiano significato e pone una seria ipotesi sulla estendibilità di questo aspetto in maniera rapida ed economicamente sostenibile.

In conclusione lo studio ha proposto un approccio alla conoscenza graduale, che discrimini le situazioni critiche su cui intervenire con una modellazione completa da quelle in cui un approccio semplificato risulta giustificabile.

In questo ambito l'analisi di stabilità distribuita potrebbe contribuire a mettere in luce quali possano essere i bacini idrografici a maggior rischio, comparandoli tra loro ed utilizzando l'analisi storica come discriminante finale.

Alla fine del lavoro fu proposta la realizzazione di uno studio comparativo delle situazioni di rischio così valutabili sull'intero fondovalle della Dora nella Regione Aostana, ma il progetto non venne mai realizzato, pur essendo stata dimostrata a più riprese una precisa volontà della Regione Valle d'Aosta di affidare al Servizio Geologico tale incarico.

Nella figura 40 e figura 41 alcune immagini delle modellazioni effettuate.

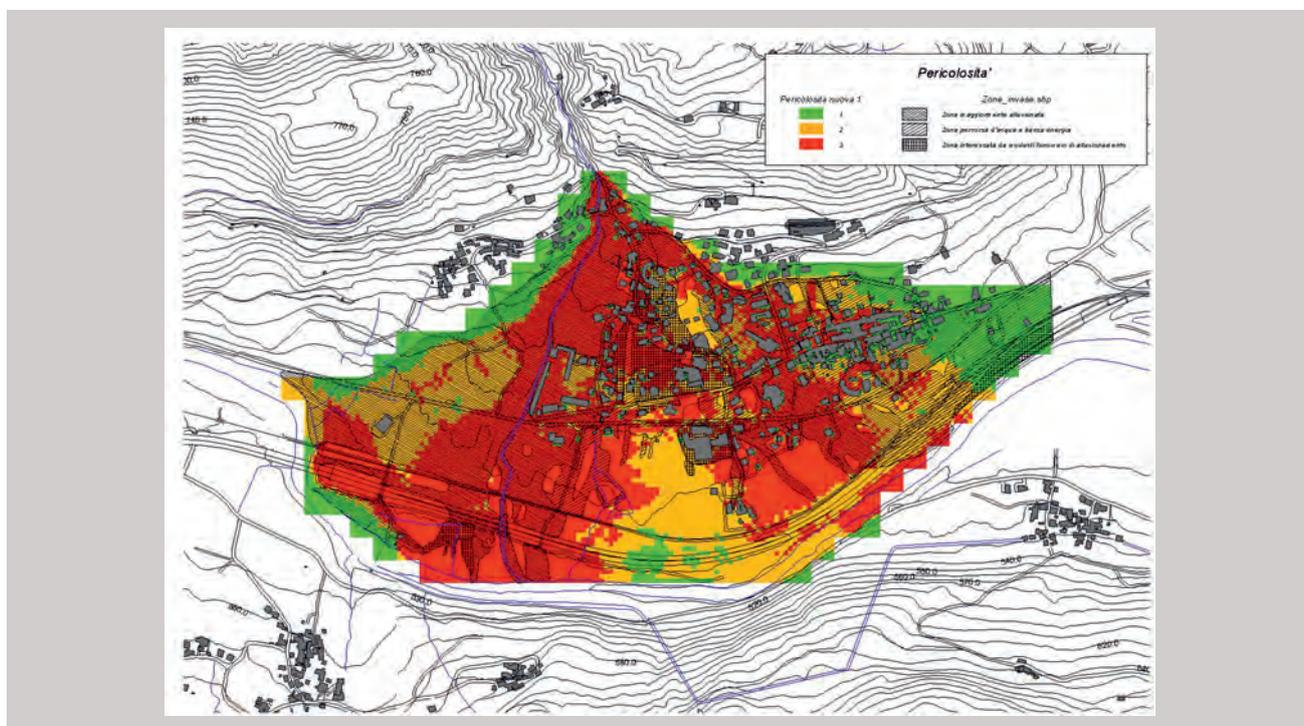


Fig. 40 - Valutazione della pericolosità effettuata con metodi idraulici. Lo scenario d'evento è stato ricostruito mediante il software specialistico FLO-2D che permette di analizzare fluidi con caratteristiche differenti dall'acqua come colate, *debris flows*, ecc. Il territorio analizzato è stato successivamente classificato in 3 classi, in funzione di velocità e altezza del flusso modellato. In retinato è sovrapposto l'effetto dell'evento del 2000 per un confronto.

- Hazard assessment performed by hydraulic methods. The scenario was reconstructed using FLO-2D specialized software; it permits to model fluids with characteristics different from the plain water such as mud flows, debris flows, etc. The analyzed area was subsequently classified into 3 classes, according to speed and height of the modeled flow. The actual area hit by the 2000 event is shown for comparison.

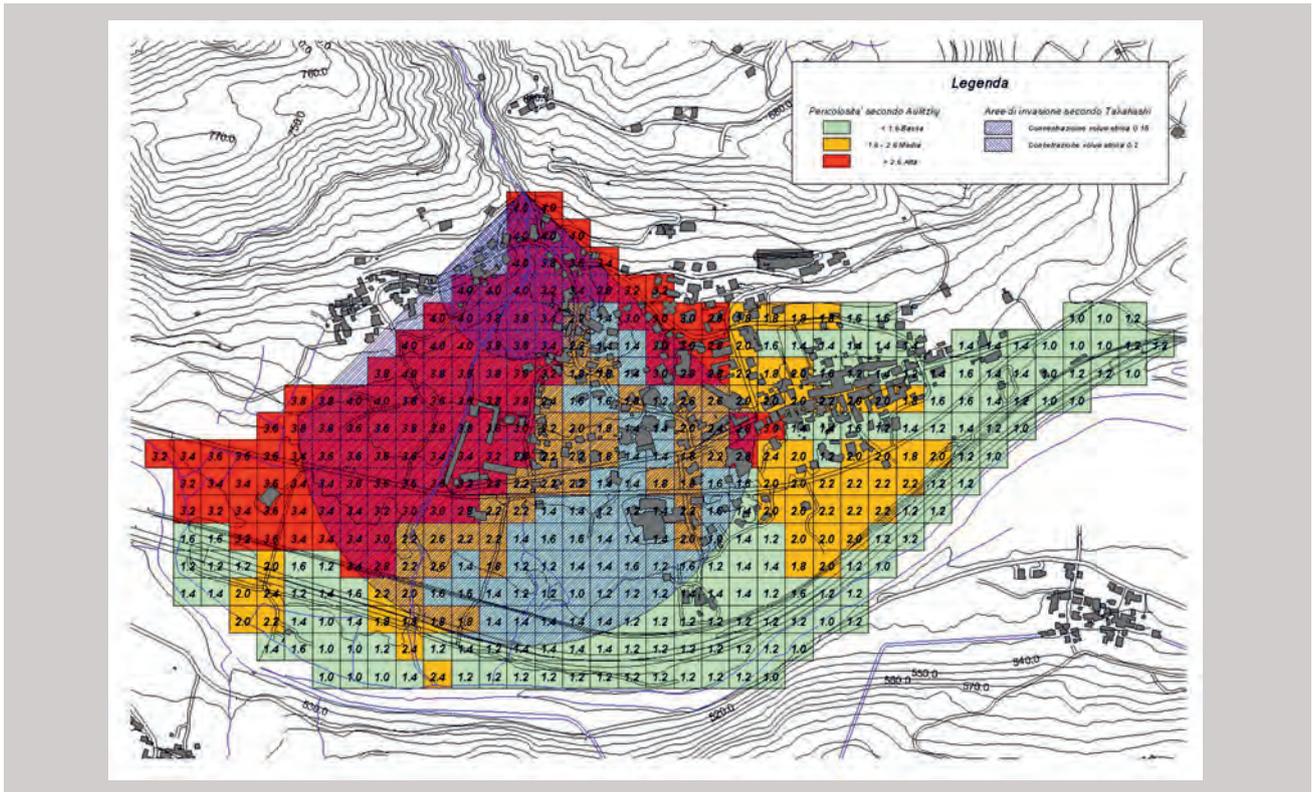


Fig. 41 - In questa tavola sono presentati i risultati di 2 metodi di zonazione di pericolosità semplificati. A) il metodo di Aulitzky modificato secondo quanto proposto da CERIANI *et alii* (1998), integrato da valutazioni degli autori del presente studio. B) In retinato il metodo di TAKAHASHI (1991) che identifica l'area mediante settori circolari posti allo sbocco della colata e diametro funzione della concentrazione volumetrica.
 - In this table the results of two different simplified hazard zoning methodologies are presented A) the Aulitzky method modified as proposed by CERIANI *et alii* (1998), supplemented by assessments of the authors of this study. B) TAKAHASHI (1991) method that identifies the possible invasion area using circular sectors placed at the foot of the mud/debris flow and a diameter depending on the volumetric concentration of the flow.