



**I S P R A**

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

**SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA**

Organo Cartografico dello Stato (legge n°68 del 2.2.1960)

**NOTE ILLUSTRATIVE**  
**della**  
**CARTA GEOLOGICA D'ITALIA**  
**alla scala 1:50.000**

foglio 409

**ZAPPONETA**

A cura di:

**Massimo Caldara<sup>1</sup>, Domenico Capolongo<sup>1</sup>, Vincenzo Del Gaudio<sup>1</sup>,  
Vincenzo De Santis<sup>1</sup>, Luigi Pennetta<sup>1</sup>, Patrizia Maiorano<sup>1</sup>, Oronzo Simone<sup>2</sup>**

(1) Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali - Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"

(2) Geologo rilevatore

Ente realizzatore



**REGIONE PUGLIA**

Assessorato Assetto del Territorio  
- Urbanistica, Edilizia residenziale pubblica -  
Servizio Assetto del Territorio

*Direttore del Servizio Geologico d'Italia-ISPRA:*  
**C. Campobasso**

*Responsabile del Progetto CARG per il Servizio Geologico d'Italia-ISPRA:*  
**F. Galluzzo**

*Responsabili del Progetto CARG - Regione Puglia:*  
**O. Santoro** (2004-2005), **P. Cavalcoli** (2006-2009),  
**F. Pace** (dal 2010)

*Gestione operativa del Progetto CARG per il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA:*  
**M. T. Lettieri**

*Gestione operativa del Progetto CARG per la Regione Puglia:*  
**M. Lopinto**

PER IL SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA - ISPRA:

*Revisione scientifica:*

**R. Bonomo, M. Rossi, E. La Posta, M. Marino** (aree emerse);

**S. D'Angelo, A. Fiorentino** (aree sommerse)

*Coordinamento cartografico:* **D. Tacchia** (coord.), **S. Falcetti**

*Revisione informatizzazione dei dati geologici:*

**L. Battaglini, R. Carta, A. Fiorentino (ASC)**

*Coordinamento editoriale e allestimento per la stampa:*

**M. L. Vatovec** (coord.), **S. Falcetti**

PER L'UNIVERSITA DEGLI STUDI DI BARI-DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
DELLA TERRA E GEOAMBIENTALI:

*Responsabili del Progetto CARG:*

**N. Walsh** (2002-2004), **G. Zito** (2004-2006),

**G. Baldassarre** (2006-2010), **P. Dellino** (dal 2011).

*Coordinatore scientifico:* **L. Pennetta**

*Direttore del rilevamento:* **M. Caldara**

*Responsabile per l'informatizzazione:* **D. Capolongo**

*Analisti:* **M. Caldara** (macro), **P. Maiorano** (micro)

*Rilevatori:* **V. De Santis, O. Simone**

*Informatizzazione e allestimento per la stampa dalla Banca Dati:*

*Si ringraziano i componenti dei Comitati Geologici per il loro contributo scientifico*



## INDICE

<b>I</b>	- <b>INTRODUZIONE</b> .....	pag. 7
1.	- DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....»	7
2.	- CONOSCENZE GEOLOGICHE PRECEDENTI.....»	9
<b>II</b>	- <b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b> .....»	17
1.	- DOMINIO DELLA PIATTAFORMA APULO-GARGANICA.....»	18
2.	- DOMINIO DELLA FOSSA BRADANICA.....»	20
<b>III</b>	- <b>METODI DI INDAGINE</b> .....»	23
1.	- PREMESSA.....»	23
2.	- METODI DI STUDIO DELLE AREE EMERSE.....»	23
2.1.	- RILEVAMENTO GEOLOGICO.....»	24
2.2.	- DATI DI SOTTOSUOLO.....»	24
2.2.1.	- <i>Dati di pozzo</i> .....»	24
2.2.2.	- <i>Sismica a riflessione e rifrazione</i> .....»	28
2.3.	- ELABORAZIONE DATI.....»	30
3.	- METODI DI STUDIO DELLE AREE SOMMERSE.....»	30
4.	- DATAZIONE DELLE UNITA' SEDIMENTARIE.....»	31
4.1.	- BIOSTRATIGRAFIA.....»	31
4.2.	- DATAZIONI CON IL METODO C <sup>14</sup> .....»	33
4.3.	- DATAZIONI CON IL METODO DELLA RACEMIZZAZIONE DEGLI AMMI-NACIDI.....»	34
4.4.	- TEFROSTRATIGRAFIA.....»	36
<b>IV</b>	- <b>STRATIGRAFIA</b> .....»	39
1.	- PREMESSA.....»	39
2.	- UNITÀ CARBONATICHE MESOZOICHE DELLA PIATTAFORMA APULA.....»	42
2.1.	- CALCARE DI BARI ( <b>CBA</b> ).....»	42
2.1.1.	- <i>Membro di Monte Calvo</i> ( <b>CBA<sub>1</sub></b> ).....»	42
3.	- UNITÀ DELL'AVANFOSSA BRADANICA.....»	46
3.1.	- CALCARENITE DI GRAVINA ( <b>GRA</b> ).....»	47
3.2.	- ARGILLE SUBAPPENINE ( <b>ASP</b> ).....»	48
3.3.	- SINTEMA DI CERIGNOLA ( <b>RGL</b> ).....»	51
3.3.1.	- <i>Sabbie di Torre Quarto</i> ( <b>STQ</b> ).....»	52
4.	- SUPERSINTEMA DEL TAVOLIERE DI PUGLIA ( <b>TP</b> ).....»	52
4.1.	- SABBIE DI COPPA NEVIGATA ( <b>NEA</b> ).....»	53
4.2.	- SINTEMA DI MASSERIA COPPA NEVIGATA ( <b>NVI</b> ).....»	54

4.3.	- SINTEMA DI MASSERIA LA MOTTICELLA ( <b>MLM</b> ).....»	55
4.3.1.	- <i>Subsintema di Amendola</i> ( <b>MLM<sub>1</sub></b> ).....»	56
4.4.	- SINTEMA DI ISOLA DEGLI OLIVI DI TORELLI ( <b>IOT</b> ) .....»	59
4.5.	- SINTEMA DI FOGGIA ( <b>TGF</b> ).....»	60
4.6.	- SINTEMA DI MASSERIA FINAMONDO ( <b>TPF</b> ) .....»	61
4.7.	- SINTEMA DEI TORRENTI CARAPELLE E CERVARO ( <b>RPL</b> ) .....»	62
4.7.1.	- <i>Subsintema dell’Incoronata</i> ( <b>RPL<sub>1</sub></b> ).....»	62
4.7.2.	- <i>Subsintema delle Marane La Pidocchiosa -Castello</i> ( <b>RPL<sub>3</sub></b> )...»	65
4.8.	- SINTEMA DI MASSERIA INACQUATA ( <b>NAQ</b> ).....»	66
5.	- UNITÀ TARDO QUATERNARIE NON DISTINTE IN BASE AL BACINO DI APPARTENENZA.....»	68
5.1.	- DEPOSITI DI VERSANTE ( <b>a</b> ).....»	68
5.2.	- DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI ( <b>b<sub>b</sub></b> ).....»	69
5.3.	- DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALMENTE IN EVOLUZIONE ( <b>b<sub>a</sub></b> ).....»	69
5.4.	- COLTRE ELUVIO-COLLUVIALE ( <b>b<sub>2</sub></b> ).....»	70
5.5.	- DEPOSITI DI SPIAGGIA ( <b>g<sub>2</sub></b> ).....»	70
5.6.	- DEPOSITI PALUSTRI ( <b>e<sub>5</sub></b> ).....»	71
5.7.	- SALINE ( <b>h<sub>2</sub></b> ).....»	71
5.8.	- DEPOSITI ANTROPICI ( <b>h</b> ).....»	71
6.	- CALCRETE O CROSTA PUGLIESE.....»	73
7.	- DEPOSITI DELL’AREA SOMMERSA.....»	75
7.1.	- SPIAGGIA SOMMERSA ( <b>g<sub>8</sub></b> ).....»	75
7.2.	- DEPOSITO DI PIATTAFORMA ( <b>g<sub>18</sub></b> ).....»	75
7.3.	- CORPI LITOIDI ORGANOGENI ( <b>g<sub>13</sub></b> ).....»	76
7.4.	- DEPOSITO PALINSESTO ( <b>m<sub>9</sub></b> ).....»	76
<b>V - GEOLOGIA MARINA</b> .....»		77
1.	- DATI TECNICI DEL RILIEVO.....»	77
1.1.	- IMBARCAZIONE E SISTEMA DI POSIZIONAMENTO UTILIZZATI ...»	77
1.2.	- RILIEVO SISMOSTRATIGRAFICO.....»	78
1.3.	- MODALITA’ DI ESECUZIONE DEL RILIEVO SISMOSTRATIGRAFICO E MORFOLOGICO.....»	78
1.4.	- RILIEVO MORFOLOGICO.....»	78
1.5.	- PRELIEVO DI CAMPIONI DI SEDIMENTO.....»	79
1.6.	- ELABORAZIONE DATI.....»	80
2.	- SISMOSTRATIGRAFIA.....»	82
2.1.	- UNITÀ PRE-WÜRMIANA ( <b>PW</b> ) .....»	84
2.2.	- UNITÀ DEL MIS 1 .....»	84
2.2.1.	- System Tract <i>Trasgressivo</i> ( <b>TST</b> ) .....»	87
2.2.2.	- System Tract <i>di alto stazionamento del l.m.</i> ( <b>HST</b> ).....»	89
2.3.	- CORPI LITOIDI ORGANOGENI ( <b>g<sub>13</sub></b> ) .....»	89
3.	- INTERPRETAZIONE .....»	90

<b>VI - TETTONICA.....»</b>	<b>93</b>
1. - CONOSCENZE PRECEDENTI.....»	93
2. - LE STRUTTURE DI SUPERFICIE.....»	101
3. - LE STRUTTURE DI SOTTOSUOLO.....»	103
4. - I MOVIMENTI VERTICALI .....»	107
5. - SISMICITÀ .....»	109
<b>VII - GEOMORFOLOGIA .....»</b>	<b>113</b>
<b>VIII - IDROGEOLOGIA.....»</b>	<b>119</b>
1. - ACQUIFERO FESSURATO-CARSICO (PC).....»	119
2. - ACQUIFERO POROSO PROFONDO (PP).....»	120
3. - ACQUIFERO POROSO SUPERFICIALE (SP).....»	121
4. - SORGENTI.....»	122
5. - SCADIMENTO E DEPAUPERAMENTO DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE.....»	124
<b>IX - ELEMENTI DI GEOLOGICA TECNICA E APPLICATA .....»</b>	<b>125</b>
1. - SUBSIDENZA.....»	125
2. - EROSIONE COSTIERA .....»	129
3. - PROPENSIONE AL DISSESTO IDROGEOLOGICO.....»	134
3.1. - FRANE.....»	134
3.2. - ALLUVIONI.....»	134
3.3. - RISCHIO IDROGEOLOGICO .....»	135
4. - RISORSE LITO-MINERALI E ATTIVITÀ ESTRATTIVE.....»	135
<b>X - STORIA DELL'ANTROPIZZAZIONE .....»</b>	<b>137</b>
<b>XI - ABSTRACT.....»</b>	<b>143</b>
<b>XII - LEGEND.....»</b>	<b>147</b>
<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....»</b>	<b>155</b>

## I - INTRODUZIONE

L'area del Foglio 409 "Zapponeta" rientra nel cosiddetto *Tavoliere di Puglia*, una vasta zona pianeggiante delimitata a sud-est dall'altopiano murgiano, a sud-ovest dai primi rilievi collinari dell'Appennino Dauno e a nord dal promontorio del Gargano.

Cartograficamente l'area ricade a cavallo di due carte topografiche in scala 1:100.000 e più precisamente dei fogli 164 "Foggia" e 165 "Trinitapoli".

Dal punto di vista amministrativo ricade interamente nella provincia di Foggia. I comuni interessati, oltre a Manfredonia, il cui territorio è il più esteso, sono Cerignola, Foggia, San Giovanni Rotondo, San Marco in Lamis e Zapponeta (Fig. 1).

### 1. - DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Per la realizzazione del Progetto CARG, relativo alla nuova Cartografia Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, sono state stipulate negli anni passati numerose convenzioni tra Servizio Geologico Nazionale e Regioni, Province autonome, Università e CNR facendo riferimento a precise disposizioni di legge (leggi 67/88, 305/89 e 226/99).

In questo contesto, la Regione Puglia, con delibera G.R. n. 1902 del 20/12/2005, utilizzando fondi propri, ha approvato la convenzione con l'APAT, oggi ISPRA, per la realizzazione ed informatizzazione del Foglio 409 "Zapponeta"

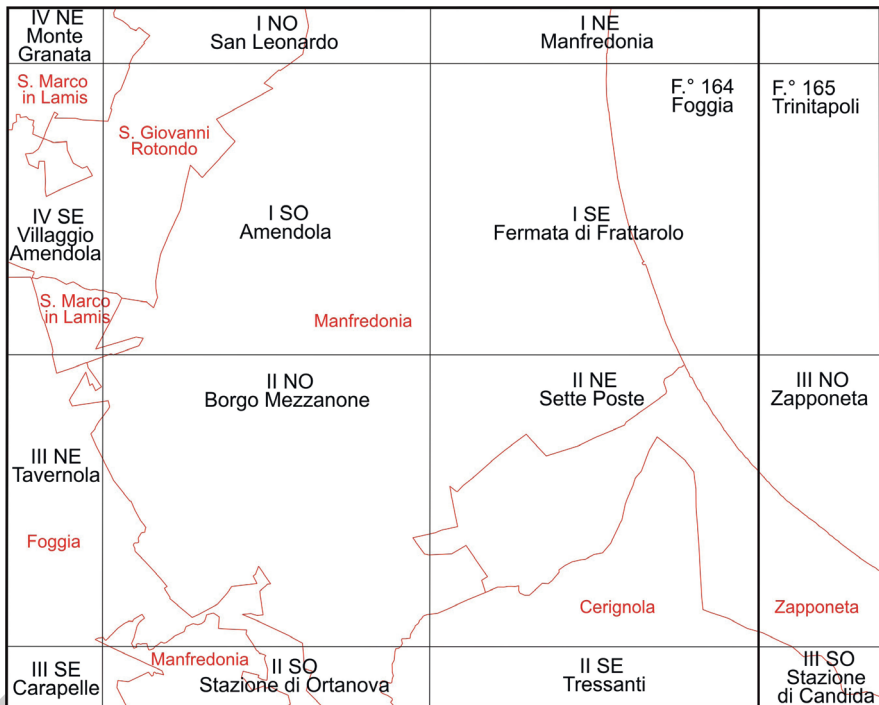


Fig. 1 - Suddivisione del F.° 409 "Zapponeta" in porzioni di fogli alla scala 1:100.000 con relative tavolette (in nero) e limiti amministrativi (in rosso)

comprensivo del rilevamento delle aree marine. Il soggetto attuatore è stato individuato nell'Università di Bari - Dipartimento di Geologia e Geofisica, attuale Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, con cui è stata stipulata apposita convenzione (rep. N. 00613 del 02/05/2006 registrata il 18/05/2006 al n. 06125), secondo lo schema di convenzione e l'allegato tecnico per la compilazione del Piano Operativo di Lavoro (POL) approvati con determina n. 80 del 05/04/2006.

I terreni del Foglio 409 "Zapponeta" sono caratterizzati da condizioni di affioramento decisamente sfavorevoli e ciò è da porsi in relazione con l'assetto topografico dell'area, praticamente pianeggiante, e con la presenza di un reticolo idrografico giovane e poco sviluppato che non ha prodotto incisioni significative, fortemente condizionato da opere di arginatura e canalizzazione.

Gli affioramenti naturali sono in genere di qualità molto bassa e nel migliore dei casi la sezione affiorante si riduce a pochi metri. Migliore è la situazione degli affioramenti legati alle attività antropiche (cave, scavi, tagli stradali, ecc.) che permettono l'osservazione di buone sezioni su pareti la cui altezza in alcuni casi

raggiunge i 10 metri. Di conseguenza, per sopperire alla mancanza di affioramenti naturali, si è fatto largo uso di dati di profondità.

Il progetto è stato coordinato dal prof. Luigi Pennetta e diretto dal prof. Massimo Caldara. Il rilevamento geologico è stato eseguito dal dr. Vincenzo De Santis e dal dr. Oronzo Simone; lo studio biostratigrafico è stato condotto dalla dott.ssa Patrizia Maiorano, le associazioni faunistiche sono state studiate dal prof. M. Caldara (macro), l'amminostratigrafia è stata realizzata dal prof. Trinidad Torres e dal dott. José E. Ortiz; lo studio dei dati di perforazione è stato realizzato dal dr. V. De Santis e dal prof. M. Caldara; la realizzazione informatica dal dr. Domenico Capolongo e dal dr. V. De Santis.

La stesura delle note è stata curata dagli autori seguenti:

Coordinamento e revisione generale del testo: M. CALDARA, V. DE SANTIS

Introduzione: L. Pennetta (I)

Inquadramento geologico: M. Caldara (II), V. De Santis (II)

Metodi di indagine: M. Caldara (III.1,2,4), V. De Santis (III.1,3,4), P. Maiorano (III. 4.1)

Stratigrafia: M. Caldara (IV.1,3,4,5,6), V. De Santis (IV.1,2,4,5,7)

Sismostratigrafia della parte a mare: V. DE SANTIS (V)

Tettonica: M. Caldara (VI.3,4), V. Del Gaudio (VI.5), V. De Santis (VI. 1,2,3,4).

Geomorfologia: M. Caldara (VII)

Idrogeologia: M. Caldara (VIII), V. De Santis (VIII)

Elementi di geologia tecnica e applicata: M. Caldara (IX,1,2), V. De Santis (IV,3,4)

Storia dell'antropizzazione: M. CALDARA (X)

Abstract: V. De Santis

L'*editing* di queste note è stato curato da M. CALDARA, V. DE SANTIS.

## 2. - CONOSCENZE GEOLOGICHE PRECEDENTI

Come sarà meglio discusso nei capitoli successivi, l'area del Foglio 409 "Zapponeta" ricade per la maggior parte della sua estensione nel Tavoliere di Puglia che, da un punto di vista stratigrafico-strutturale, è un segmento di avanfossa poco deformato compreso fra l'Appennino Meridionale e l'avampaese Apulo-Garganico. Solo nella porzione nord-orientale invece, sono presenti le prime propaggini del massiccio del Gargano, appartenenti al dominio di avampaese.

Una disamina delle conoscenze geologiche precedenti non può fare a meno di partire dall'originale ed enciclopedica "La Fisica Appula" del fraticello MANICONE (1806-07), che dimostrò scientificamente l'infondatezza di numerose e ben radicate leggende popolari quali: l'attribuzione dell'edificio garganico ad un vulcano spento; l'origine craterica dei laghi di Lesina e Varano; le grave garganiche collegate all'opera del fuoco. Per quanto riguarda il Gargano concluse che, essendo "*un vasto cimiterio, dove innumerevoli specie di animali marini sepolti rinvengonsi*", "*è dunque l'opera degli scheletri degli animali marini*" difatti "*prima fu un vasto*

*banco, poi crebbe, e sollevossi”* parimenti alla nascita di numerose isole coralline descritte dal capitano Cook. Seppur aperto alle nuove idee, la sua cultura religiosa e i tempi, ben lontani dalle teorie di Hutton, Lyell e Darwin, lo portarono a ritenere che l’origine del Gargano fosse recente *“quantunque ... sia anteriore ad ogni memoria scritta, essa però surse dopo la riformazione del nostro Globo, di cui Mosè ci dà la Storia nel Genesi”*.

Per quanto riguarda la piana del Tavoliere, dimostrò, inoltre, come *“la Daunia sia stata un tempo vero fondo di mare”* anche se non riuscì a capacitarci che essa *“siasi cangiata da mare in terra pel terreno depositatovi dai fiumi apuli”*.

Un grosso impulso allo studio della geologia della Puglia venne sul finire del secolo XIX, tramite lavori prevalentemente riferiti ai calcari mesozoici affioranti nelle Murge e nel Gargano. Per quanto riguarda il Gargano non si possono non ricordare i primi studi di carattere prettamente paleontologico sulle ellipsactinie di CANAVARI (1886) e MENEGHINI (1884), sui nummuliti di D’ARCHIAC & HAIME (1853) e TELLINI (1890), sui molluschi di GUISCARDI (1856) e PILLA (1840) e sui brachiopodi di BUCCA (1881). Contemporaneamente si andavano delineando i primi studi sulla geologia del Gargano, tra questi la relazione all’intendenza di Capitanata sopra la struttura geologica del Monte Gargano di PILLA (1840), a cui seguirono gli *“appunti geologici del Gargano”* di BUCCA (1881). Quest’ultimo lavoro era così completo da far scrivere a CORTESE & CANAVARI (1884) che *“geologicamente parlando, dopo la pubblicazione di BUCCA, poco più rimaneva a fare sul promontorio”*, per cui solo grazie ad una lunga permanenza in loco e alle disagiate strade percorse, gli Autori potevano portare un nuovo contributo allo studio dell’area.

Infine, una prima sintesi geologica del Gargano, che portò alla stesura di una carta seppure a piccola scala, 1:300.000, venne realizzata da VIOLA & CASSETTI (1893).

A partire dall’inizio del secolo scorso e per quasi mezzo secolo la storia del Gargano, e non solo, è legata agli studi di Checchia Rispoli. L’analisi delle faune, in particolare foraminiferi, molluschi, echinidi, crostacei, gli ha permesso di mettere a punto sul Gargano la stratigrafia dei terreni cretacei ed eocenici e di riconoscerne l’esistenza del Miocene e del Pliocene. Di conseguenza riteneva che tra l’Eocene e il Miocene il Gargano fosse emerso e costituisse una grande isola nell’Adriatico.

CHECCHIA RISPOLI tra il 1912 e il 1917 pubblicò una serie di *“osservazioni geologiche sull’Appennino della Capitanata”*. In queste si trovano i primi elementi importanti sui depositi terrigeni pliocenici e quaternari, affioranti nel Tavoliere di Puglia, la cui geologia è messa a punto da SACCO (1911) e D’ERASMO (1934).

I primi lavori cartografici di rilievo furono redatti in occasione della realizzazione della prima edizione della Carta Geologica d’Italia in scala 1:100.000. Tra la fine dell’800 e le prime decadi del ‘900 furono rilevati per l’area Garganica, e pubblicati a cura del Regio Ufficio Geologico, i fogli: 155 *“San Severo”* (REGIO UFF. GEOL., 1932), 156 *“San Marco in Lamis”* (REGIO UFF. GEOL., 1928a), 157 *“Monte S. Angelo”* (REGIO UFF. GEOL., 1928b); per il Tavoliere di Puglia: 165 *“Trinitapoli”* (REGIO UFF.

GEOL., 1910a) e 176 “*Barletta*” (REGIO UFF. GEOL., 1910b); ed infine a cavallo delle due aree il F° 164 “*Foggia*” (REGIO UFF. GEOL., 1934).

Sempre in questi anni appaiono in allegato al Bollettino della Società Geologica Italiana alcune carte in scala 1:500.000 di interesse regionale e di indubbio valore storico e bibliografico. Ci si riferisce alla “Carta Geologica dell’Appennino Meridionale” (SACCO, 1910), allo “Schema Geologico della Puglia” (SACCO, 1911), allo “Schema Geotettonico dell’Appennino Meridionale” (SACCO, 1912), a cui si aggiunge la “Carta Geologica della Capitanata ed aree limitrofe” (LOTTI, 1926) pubblicata a cura dell’Ente Autonomo Acquedotto Pugliese.

Con il lavoro di MIGLIORINI (1937), compare per la prima volta il termine di Fossa Bradanica, intesa come bacino di sedimentazione plio-pleistocenico compreso tra la catena appenninica e l’avampaese apulo.

Il progresso delle conoscenze geologiche si intensificò nel secondo dopoguerra, ed in particolare negli anni ‘60, in occasione dei lavori inerenti la seconda edizione della Carta Geologica Ufficiale in scala 1:100.000. Furono realizzate e pubblicate le nuove edizioni dei seguenti fogli: 164 “*Foggia*” (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 1969), 165 “*Trinitapoli*” (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 1968a), 176 “*Barletta*” (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 1970), 188 “*Gravina in Puglia*” (Servizio Geologico d’Italia, 1966), 189 “*Altamura*” (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 1968b), e fu completata la prima edizione del Foglio 175 “*Cerignola*” (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 1963) la cui area era rimasta scoperta durante la prima edizione della cartografia geologica ufficiale. Questi rilievi, corredati dalle note illustrative (Malatesta et alii, 1967; Boenzi et alii, 1971, Merla et alii, 1969), fornirono un contributo decisivo alla definizione dei termini del ciclo della fossa Bradanica (Calcarenite di Gravina, argille subappennine, sabbie di monte Marano e conglomerato di Irsina). Meno incisivo è stato il contributo relativo ai depositi marini terrazzati. Tali depositi vengono riportati (Jacobacci et alii, 1967; Malatesta et alii, 1967; Boni et alii, 1969; Merla et alii, 1969; Boenzi et alii, 1971) con denominazioni differenti; inoltre, essi vengono descritti in alcuni casi in continuità sulle argille subappennine (Boni et alii, 1969; Malatesta et alii, 1967) e in altri come depositi marini terrazzati post-calabrianici discordanti sulle argille subappennine (Jacobacci et alii, 1967; Merla et alii, 1969; Boenzi et alii, 1971).

Per l’area garganica, un importante avanzamento delle conoscenze fu determinato dalle ricerche condotte dall’AGIP mineraria, pubblicate poi nei lavori di MATTAVELLI & PAVAN (1965) e PAVAN & PIRINI (1965): questi inquadrarono per la prima volta le successioni carbonatiche giurassico-cretacee del territorio garganico in un sistema deposizionale di piattaforma, delimitando arealmente i relativi domini sedimentari di retroscogliera, scogliera e avanscogliera. Gli stessi Autori presentarono una proposta di ripartizione formazionale.

Tale schema stratigrafico vede l’organizzazione, durante il Giurassico, di un



sistema che si articola in una scogliera al centro dell'attuale promontorio garganico; a nord e a nord-est si localizzano ambienti di mare aperto con deposizione di calcari pelagici (non affioranti) mentre ad ovest si individua una zona di retroscogliera con deposizione di calcari oolitici. Tale situazione sarebbe perdurata fino al Cretacico inferiore, quando si sarebbe verificato un sollevamento tettonico che avrebbe portato alla costituzione di una dorsale orientata in direzione NO-SE, con conseguente emersione e distruzione della scogliera giurassica. Sempre a partire dal Cretacico inferiore, e durante tutto il Cretacico, l'area orientale sarebbe stata caratterizzata da subsidenza e conseguente deposizione di sedimenti di scarpata, mentre nell'area occidentale avrebbero continuato a depositarsi sedimenti di retroscogliera o di transizione.

Questo schema geologico-stratigrafico fu adottato da MARTINIS & PAVAN (1967)

Tab. I - *Quadro riassuntivo delle unità giurassico-cretaciche del Gargano distinte per fogli e facies, come riportate nelle Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.*

FOGLIO	SCOGLIERA	AVANSCOGLIERA	RETROSCOGLIERA	TRANSIZIONE
155 San Severo			Calcari di Sannicandro	
	Calcari di Monte S. Angelo		Formazione di Monte La Serra	
157 Monte Sant'Angelo		Calcari tipo scaglia		Calcari tipo craie di M. Acuto
		Calcari tipo maiolica		Calcari organogeni di Monte S. Angelo
	Calcari di scogliera di M. Sacro	Calcari e dolomie di M. Iacotenente	Calcari oolitici di Coppa Guardiola	Calcari bioclastici di Mattinata
156 San Marco in Lamis	Formazione di Carpino		Formazione di Monte La Serra	
	Formazione di Cagnano		Formazione di Sannicandro	
	Formazione di M. Sacro		Formazione di S. Giovanni Rotondo	Formazione di M. Acuto
	Formazione di M.te Pizzuto	Formazione di Rodi Garganico	Formazione di M. Spigno	Formazione di Monte S. Angelo
164 Foggia				Calcari di Casa Lauriola
				Calcari di Masseria Quadrone
			Calcari di Rignano Garganico	Calcari tipo craie di Monte Acuto
			Calcari oolitici di Coppa Guardiola	Calcari organogeni di Monte S. Angelo

in occasione dell'aggiornamento del Foglio 157 "Monte Sant'Angelo". In seguito BONI *et alii* (1969), CREMONINI *et alii* (1971), MERLA *et alii* (1969) apportarono alcune modifiche, soprattutto relative alle età, introducendole rispettivamente nelle note illustrative dei fogli 155 "San Severo", 156 "San Marco in Lamis" e 164 "Foggia". Un quadro sintetico dei vari nomi usati per le unità è riportato nella Tabella I.

A partire dagli anni '80, un nuovo impulso alle conoscenze stratigrafiche del Gargano è dovuto agli studi sulle microfaune di LUPERTO SINNI E., MASSE J.P. E BORGOMANO J.. Il modello deposizionale retroscogliera-scogliera-avanscogliera è relegato alle sole unità giurassiche. Per quelle cretatiche è stato proposto un nuovo modello di transizione tra piattaforma carbonatica e bacino, controllato principalmente dalla tettonica (MASSE & BORGOMANO, 1987; MASSE & LUPERTO SINNI, 1987). Gli Autori (LUPERTO SINNI & MASSE 1986, 1987; MASSE & LUPERTO SINNI 1987) propongono anche una nuova organizzazione stratigrafica, individuando nel Gargano tre sole grandi formazioni: i "Calcari di S. Giovanni Rotondo" (riferiti al Berrasio *p.p.* - Aptiano inferiore *p.p.*), interpretati come calcari di piattaforma, i "Calcari di Mattinata", interpretati come deposito di scarpata e i "Calcari di Vico del Gargano", interpretati come depositi di bacino. Una conseguenza di questo modello è lo stretto collegamento fra i depositi di piattaforma interna cretatici garganici e quelli coevi murgiani (LUPERTO SINNI & MASSE, 1986; LAVIANO & MARINO, 1996). Successivamente anche i depositi carbonatici datati al Cretacico superiore attribuiti ai "Calcari di Casa Lauriola" sono stati assimilati al "calcario di Altamura" (LUPERTO SINNI & BORGOMANO, 1994; LUPERTO SINNI, 1996).

Sempre restando in area garganica, importante è lo studio sul Neogene del Monte Gargano (D'ALESSANDRO *et alii*, 1979), che, grazie alle macro e microfaune, rimette ordine fra i depositi del Miocene (Calcareniti di Apricena, F.° 155 "San Severo" e F.° 156 "San Marco in Lamis"; Calcari a briozoi, F.° 164 "Foggia" e F.° 156 "San Marco in Lamis") e del Pliocene (Formazione del Lago di Varano, F.° 156 "San Marco in Lamis") distinguendo due cicli sedimentari. Il primo ciclo è costituito da due formazioni fra loro eteropiche ("Pietra leccese" e "Calcareniti di Apricena"), datate al Tortoniano superiore (D'ALESSANDRO *et alii*, 1979). Il secondo ciclo è correlabile con quello della Fossa Bradanica, per cui le biocalcareni ingressive, attribuite al Pliocene inferiore e medio sulla base delle malacofaune e medio sulla base dei foraminiferi, sono state interpretate come analoghe alla "Calcarenite di Gravina" (D'ALESSANDRO *et alii*, 1979).

Anche per l'area del Tavoliere di Puglia un importante avanzamento delle conoscenze fu determinato dalle ricerche connesse con le esplorazioni del sottosuolo. A tal proposito vanno ricordati i lavori sul cosiddetto "Bacino Pugliese" di BALDUZZI *et alii* (1984b), di CASNEDI *et alii* (1984), e i lavori di respiro regionale di CASNEDI (1992), MOSTARDINI & MERLINI (1988), CASERO *et alii* (1992) e SELLA *et alii* (1992) che hanno dato un notevole contributo alle conoscenze geodinamiche

dell'area. L'utilizzo di dati di profondità, in questo caso provenienti principalmente da ricerche idriche, è stato utilizzato anche per il riconoscimento di morfologie sepolte; a riguardo vanno citati i lavori di CALDARA & PENNETTA (1991) e BOENZI *et alii* (1992).

Il 74° Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana, a Sorrento nel settembre del 1988, diede un nuovo impulso alla conoscenze geologiche dell'Italia meridionale. Oltre ai numerosi lavori di notevole rilevanza culturale, che portarono ad una revisione critica dei modelli stratigrafici, strutturali e paleogeografici dell'Italia meridionale, fu pubblicata la "Carta Geologica dell'Appennino Meridionale" (BONARDI *et alii*, 1988) alla scala 1: 250.000.

Con l'avvento della stratigrafia sequenziale, le precedenti formazioni mesozoiche e cenozoiche di piattaforma, scarpata e bacino del Gargano, vengono reinterpretate come porzioni di ampie sequenze deposizionali separate da superfici di erosione, individuando le interazioni tra eventi eustatici, movimenti tettonici e sedimentazione (BOSELLINI *et alii*, 1993a,b, 1999; MORSILLI & BOSELLINI, 1997; GRAZIANO, 1999). Quasi contemporaneamente PATACCA & SCANDONE (2001a; 2004), sulla base di diversi profili sismici propongono, anche per il Tavoliere di Puglia, un'interpretazione della stratigrafia in chiave sequenziale.

Nuovo impulso alle conoscenze geologiche dei depositi della Fossa Bradanica (Tavoliere di Puglia) e dell'avampese (Gargano) è recentemente giunto dai lavori per la realizzazione dei nuovi fogli geologici in scala 1:50.000 (384 "Vico del Gargano", 396 "San Severo", 407 "San Bartolomeo in Galdo", 408 "Foggia", 421 "Ascoli Satriano", 422 "Cerignola"). In tale nuova cartografia geologica, le unità quaternarie affioranti, ad eccezione delle argille subappennine (AZZAROLI *et alii*, 1968b), sono state identificate utilizzando il concetto di UBSU (*Unconformity-bounded stratigraphic unit*; SALVADOR, 1987); conseguenza di questa nuova organizzazione è che i depositi terrazzati sommitali della fase di sollevamento, affioranti nel Tavoliere di Puglia, sono stati raggruppati nel supersistema del Tavoliere di Puglia (CIARANFI *et alii*, 2011). In parziale disaccordo, relativamente però alla sola definizione del limite inferiore di tale supersistema, sono CALDARA *et alii* (2011), come meglio spiegato nel prossimo capitolo. Per quanto riguarda le unità dell'avampese, nei fogli 384 "Vico del Gargano" (BOSELLINI *et alii*, in stampa) e 396 "San Severo" (MORETTI *et alii*, 2011), le nuove interpretazioni basate sulla stratigrafia sequenziale vengono recepite in parte, mentre paiono ormai acquisite le correlazioni tra le unità garganiche e quelle coeve murgiane (MORETTI *et alii*, 2011).

Parallelamente, a partire dagli anni '90, si fanno sempre più intensi e sistematici gli studi sulle aree sommerse, essenzialmente su dati sismostratigrafici correlati con carotaggi del fondo marino. Indubbiamente, i fondali adriatici sono quelli più intensamente esplorati e studiati (CATTANEO *et alii*, 2003; CORREGGIARI

*et alii*, 2001; MASELLI & TRINCARDI, 2013; TRINCARDI *et alii*, 1996); tali studi sono poi sfociati nella realizzazione della carta geologica dei mari italiani in scala 1:250.000, tra cui il Foglio n. NK33-8/9 “Bari” (TRINCARDI *et alii*, 2011; SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 2011a) interessa l’area marina del Foglio 409 “Zapponeta”.

PROGETTO  
CARG

## II - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per meglio comprendere le caratteristiche stratigrafiche e strutturali dell'area ricadente nel Foglio 409 "Zapponeta" e l'evoluzione geologica dell'area, si ritiene opportuno fornire un quadro regionale delle unità affioranti e di quelle presenti nel sottosuolo. È bene sottolineare che queste ultime rivestono una notevole importanza per la comprensione dell'evoluzione geologica dell'area; la gran parte della successione bradanica, infatti, non affiora ma è stata ampiamente investigata attraverso studi geofisici, profili sismici a riflessione e perforazioni per ricerche di idrocarburi e risorse idriche (JABOLI & ROGER, 1954; CARISSIMO *et alii*, 1962; SELLI, 1962; CRESCENTI, 1975; BALDUZZI *et alii*, 1984a, 1984b; MOSTARDINI & MERLINI, 1988; CASNEDI *et alii*, 1984; CASNEDI, 1992; SELLA *et alii*, 1992; CASERO *et alii*, 1992; RICCHETTI *et alii*, 1992).

Sulla base dei dati di superficie e di sottosuolo è possibile distinguere, nell'area del Foglio 409 "Zapponeta", due domini stratigrafico-strutturali che rivestono anche una notevole importanza dal punto di vista paleogeografico:

- Dominio della piattaforma apulo-garganica: rappresenta l'avampaese della catena appenninica ed è costituito da una successione sedimentaria la cui età accertata va dal Permiano fino al Miocene. Nell'area del Foglio 409 "Zapponeta" questo dominio, riferibile a parte del Mesozoico, occupa solo un piccolo lembo nella parte nord-est, corrispondente alle prime propaggini del Gargano;

- Dominio della Fossa Bradanica: costituisce l'avanfossa della catena appenninica ed è caratterizzato da due successioni di riempimento. La più antica è costituita dal ciclo sedimentario della Fossa Bradanica mentre la più recente è costituita da depositi terrazzati marini e continentali raggruppati nel supersistema del Tavoliere (TP). Questo dominio, la cui età, nell'area del Foglio, va dallo Zancleano-Piacenziano all'Olocene, ne occupa quasi tutta l'area.

Recentemente, è stata ratificata una nuova suddivisione bio-stratigrafica per il Plio-Pleistocene (GIBBARD *et alii*, 2010; FINNEY, 2010), in cui il Pleistocene inferiore è stato esteso fino a comprendere il Gelasiano (RIO *et alii*, 1998). Tale nuova suddivisione è stata seguita per le unità cartografate nel Foglio 409 "Zapponeta". Riguardo invece i dati di letteratura, sono state riportate le attribuzioni cronologiche degli Autori.

## 1. - DOMINIO DELLA PIATTAFORMA APULO-GARGANICA

Questo dominio è costituito da una successione di margine continentale passivo il cui spessore stimato è di circa 6000 metri (RICCHETTI, 1981; RICCHETTI *et alii*, 1992). Come noto, tale successione affiora in tre grandi aree geografiche della Puglia: Gargano, Murge e Salento.

Diverse perforazioni profonde sono state condotte sul Gargano tra gli anni '60 e '80 del secolo scorso da società petrolifere quali AGIP e CONOCO. Fra queste *Foresta Umbra 1* (fondo pozzo a - 5912 m) e *Gargano 1* (fondo pozzo a - 4853 m) hanno permesso di schematizzare l'intera successione sedimentaria del Gargano come segue:

- basamento cristallino costituito da circa 300 metri di argilliti e rocce ignee, riferibile al pre-Permiano ed al Permiano;
- una lacuna stratigrafica separa il basamento da una unità costituita da circa 450 metri di argille, arenarie e dolomie (Triassico medio *p.p.* - superiore *p.p.*; Ladinico e Carnico);
- circa 1600-1800 metri di evaporiti passanti lateralmente ad alternanze evaporitico - dolomitiche; questa unità è stata attribuita al Triassico superiore (Norico) da MARTINIS & PAVAN (1967) ed è stata riferita alle Anidriti di Burano;
- da 800 a 1000 metri circa di dolomie ancora del Triassico superiore (Retico);
- uno spessore variabile da circa 1000 a circa 3100 metri di dolomie e calcari massicci del Giurassico (formazione dei calcari di scogliera di M. Sacro - MARTINIS & PAVAN, 1967);
- circa 150 metri di calcari e dolomie con liste e noduli di selce (formazione dei calcari di Monte Iacotenente) datati al Cretacico (MARTINIS & PAVAN, 1967);
- chiudono la successione del pozzo *Gargano 1* circa 300 metri di calcareniti bioclastiche riferibili all'intervallo Tortonian-Calabriano.

Come già detto, lo schema geologico adottato per il Gargano nella nuova cartografia in scala 1:50.000 vede ancora la suddivisione delle unità mesozoiche in sub-ambienti deposizionali tipici di una piattaforma carbonatica (Tab. II), definendoli però di piattaforma interna, piattaforma aperta, margine, scarpata, bacino (MORETTI *et alii*, 2011; BOSELLINI *et alii*, in stampa). Su queste unità poggiano in discordanza unità cenozoiche delimitate da superfici di discontinuità o, più raramente, in continuità di sedimentazione fra loro.

Nel Foglio 384 “*Vico del Gargano*”, nell’intervallo Calloviano - Berriasiano (Giurassico superiore *p.p.* - Cretacico inferiore *p.p.*) sono state distinte per le facies

Tab. II - *Quadro riassuntivo delle unità giurassico-cretaciche del Gargano distinte per fogli e facies, come riportate nelle Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000*

FOGLIO	ETÀ	PIATTAFORMA INTERNA	PIATTAFORMA APERTA	MARGINE		SCARPATA	BACINO
384 Vico del Gargano	Cretacico inf. <i>p.p.</i> -sup. <i>p.p.</i> Valanginiano-Santoniano		Calcari di Coppa Pila (solo Aptiano inf.)			Calcari di Monte Acuto	Scaglia
						Calcari di Monte Sant’Angelo	
							Marne a fucoidi
						Calcari di Mattinata	Maiolica
	Giurassico sup. <i>p.p.</i> - Cretacico inf. <i>p.p.</i> Calloviano - Berriasiano	Calcari di Sannicandro		F.ne di Monte Spigno	Calcari di Monte Sacro	F.ne di Ripe Rosse (solo Berriasiano)	Maiolica
396 San Severo	Cretacico sup. <i>p.p.</i> Coniaciano - Santoniano	Calcare di Altamura				Calcare di Monte Acuto (solo Santoniano)	
	Giurassico medio <i>p.p.</i> - Cretacico inf. <i>p.p.</i> Calloviano-Aptiano	Calcare di Bari					

di piattaforma interna la formazione di Monte Spigno, per il margine i calcari di Sannicandro e i calcari di Monte Sacro, per la scarpata la formazione di Ripe Rosse, e infine per le facies di bacino la Maiolica, non affiorante nel Foglio. Nell'intervallo Valanginiano - Santoniano (Cretacico inferiore *p.p.* - Cretacico superiore *p.p.*), sono state distinte unità di piattaforma aperta (calcari di Coppa Pila), di scarpata (calcari di Mattinata, calcari di Monte Sant'Angelo, calcari di Monte Acuto), di bacino (Maiolica, Marne a fucoidi, scaglia). Alle unità mesozoiche seguono una serie di unità cenozoiche, separate tra loro da superfici di discontinuità o, più raramente, in continuità di sedimentazione. Tra queste si annoverano la pietra leccese (Langhiano superiore - Tortonian superiore) e la calcarenite di Gravina (Piacenziano-Gelasiano)

Nel Foglio 396 "*San Severo*", nell'intervallo Calloviano - Aptiano (Giurassico medio *p.p.* - Cretacico inferiore *p.p.*), è presente la formazione del calcare di Bari (piattaforma interna); al Coniaciano - Santoniano (Cretacico superiore *p.p.*) è attribuito il calcare di Altamura (piattaforma interna); al Santoniano (Cretacico superiore *p.p.*) è attribuito il calcare di monte Acuto (scarpata). Sulle unità mesozoiche poggiano in discordanza una serie di unità cenozoiche, prevalentemente mioceniche e plioceniche, delimitate da superfici di discontinuità. Tra queste vi è la calcarenite di Gravina (Piacenziano-Gelasiano).

## 2. - DOMINIO DELLA FOSSA BRADANICA

L'Avampaese apulo è ricoperto in discordanza da una spessa successione sedimentaria clastica che ha un'età compresa fra il Pliocene ed il Pleistocene superiore. La successione di riempimento della Fossa Bradanica, in gran parte non affiorante nell'area del F.° 409 "Zapponeta", è costituita da depositi torbiditici ed emipelagici (BALDUZZI *et alii*, 1984a, 1984b) che verso l'alto evolvono a depositi di piattaforma, di spiaggia e continentali (CALDARA *et alii*, 1979).

La delineazione del bacino bradanico è collocata allo Zancleano da numerosi Autori (MALINVERNO & RYAN, 1986; ROYDEN *et alii*, 1987; PATACCA & SCANDONE, 1989; DOGLIONI, 1991), che mettono in relazione la sua formazione con la subduzione verso ovest della litosfera adriatica, processo già attivo a partire dal Miocene inferiore. Durante il processo di flessura l'avampaese apulo subisce un'intensa fatturazione, con la formazione di una struttura ad *horst* e *graben*. Come conseguenza di ciò si ha l'ingressione marina e un progressivo approfondimento del bacino. Tale approfondimento è guidato dalla retroflessione della litosfera adriatica e dal carico litostatico della catena appenninica il cui fronte progressivamente si sposta verso est sovrapponendosi agli stessi depositi di avanfossa.

Due distinte fasi geodinamiche influenzano in modo determinante la sedimentazione del bacino bradanico (RICCHETTI *et alii*, 1992; DOGLIONI *et alii*, 1994, 1996).



La prima si registra tra lo Zancleano-Piacenziano e il Pleistocene inferiore, quando i settori più occidentali dell'avampaese apulo sono interessati da una marcata subsidenza, circa 2 mm/anno (DOGLIONI *et alii*, 1994) connessa alla subduzione appenninica. Durante questa fase, ampi settori di avampaese evolvono ad avanfossa (Fossa Bradanica). PATACCA & SCANDONE (2001a, 2004), sulla base dell'interpretazione di profili sismici a riflessione integrati da analisi micropaleontologiche e log di pozzo, hanno suddiviso la successione sedimentaria plio-pleistocenica della Fossa Bradanica in diverse sequenze deposizionali, proponendo in tal modo un quadro stratigrafico aggiornato in chiave sequenziale. Dai profili pubblicati si nota come le *unconformity*, evidenziate lungo il margine appenninico, diventano concordanze relative verso il bacino.

Il Pliocene è rappresentato da un cuneo clastico di età compresa fra 3.70 e 1.83 Ma, a sua volta suddiviso in diverse unità stratigrafiche. La gran parte di questo deposito è costituita da una successione torbiditica sabbioso-argillosa progradante verso l'area di avampaese. Il Pleistocene esordisce con una sequenza condensata nell'intervallo compreso fra 1.83 e 1.57 Ma. Questa sequenza è delimitata verso l'alto da un cuneo-clastico "sin-rampa", costituito da una successione torbiditica sabbioso-argillosa che progradava verso l'avampaese, depositatosi in un tempo ridotto, compreso tra 1.57 e 1.50, contestualmente alla crescita del fronte appenninico. A sua volta il cuneo è ricoperto da depositi argilloso-sabbiosi che vanno in *onlap* sul bordo appenninico; questa sequenza, la cui età è compresa nell'intervallo 1.50-1.25 Ma, testimonia la disattivazione del fronte appenninico. Segue lo sviluppo di un sistema trasgressivo la cui età è compresa fra 1.25 e 0.92 Ma. Questi depositi sono ricoperti da un sistema progradante (0.92-0.66 Ma) che verso il bacino passa a delle torbiditi bacinali. Quest'ultimo sistema progradante comprende le argille subappennine, che affiorano nei fogli limitrofi mentre si ritrovano solo in perforazione nel F.° 409 "Zapponeta".

In tale contesto, il ciclo sedimentario della Fossa Bradanica inizia con depositi carbonatici di mare basso (calcarenite di Gravina) e successivamente prosegue con emipelagiti siltoso-argillose (argille subappennine), che marcano la fase di massimo approfondimento della Fossa Bradanica (RICCHETTI, 1981).

Più recentemente è stata documentata la presenza sul bordo murgiano ofantino di due cicli sedimentari calcarenitici (CALDARA & GISSI, 1993). Una fase tettonica del Gelasiano marca la discordanza tra i depositi del primo ciclo e le unità del secondo ciclo (CALDARA *et alii*, 2006).

La seconda fase geodinamica è registrata nel Pleistocene medio quando l'intero avampaese apulo è soggetto a sollevamento, testimoniato a livello regionale dai depositi regressivi del Ciclo della Fossa Bradanica (parte alta delle argille subappennine, sabbie di Monte Marano e conglomerato di Irsina) e dai depositi marini e alluvionali terrazzati che si rinvengono a quote decrescenti, dai più antichi ai più recenti (CIARANFI *et alii*, 1992).

Alla fase di sollevamento regionale, tuttora in corso, già di per sé polifasica, si sono sovrapposte oscillazioni del livello marino di tipo glacioeustatico, interferendo e complicando ulteriormente il meccanismo di regressione (RICCHETTI *et alii*, 1992). Il risultato è rappresentato da diverse unità litostratigrafiche riferibili a più cicli sedimentari marini e/o a fasi continentali di alluvionamento (CALDARA & PENNETTA, 1991, 1993a; BOENZI *et alii*, 1992).

Nella nuova cartografia geologica in scala 1:50.000, ai depositi sommitali della fase di sollevamento, con esclusione della parte alta delle argille subappennine, è stato attribuito un significato regionale, per cui gli stessi sono stati raggruppati nel Supersintema del Tavoliere di Puglia (CIARANFI *et alii*, 2011). Questo, costituito prevalentemente da depositi continentali terrazzati di modesto spessore, poggia in discordanza angolare sulle argille subappennine nei settori occidentali del Tavoliere di Puglia, mentre nelle aree orientali appare in paraconcordanza sulle stesse argille subappennine. Localmente, tra depositi continentali terrazzati e le sottostanti argille subappennine sono stati riconosciuti depositi marini di spiaggia (CIARANFI *et alii*, 2011). Sulla base di considerazioni di carattere regionale è stata attribuita al supersintema un'età compresa tra il Pleistocene inferiore-medio e la fine del Pleistocene medio-passaggio al Pleistocene superiore (CIARANFI *et alii*, 2011).

In parziale disaccordo sono CALDARA *et alii* (2011) che ritengono che la base del supersintema non possa essere individuata da una inversione di tendenza, ma da una discontinuità netta e a carattere regionale, collegata alla individuazione di un nuovo bacino differenziatosi da quello della Fossa Bradanica. Tale situazione, che certamente si è verificata con il collegamento tra l'Appennino e l'avampaese murgiano e/o tra l'Appennino e il Gargano, chiudendo un paleogolfo di Manfredonia, si è verificata in tempi successivi. Allo stato attuale, uno studio paleogeografico al riguardo non è ancora disponibile, per cui CALDARA *et alii* (2011b), nel Foglio 422 "Cerignola", hanno interpretato il sintema di Cerignola (RGL) come chiusura dei depositi di riempimento della Fossa Bradanica, mentre hanno riferito al supersintema del Tavoliere di Puglia i depositi alluvionali trasgressivi su questa unità e/o direttamente sulle argille subappennine. Nel Foglio 409 "Zapponeta" il sintema di Cerignola, e più precisamente le sabbie di Torre Quarto (STQ), affiora solo in lembi isolati nel settore più meridionale.

### **III - METODI DI INDAGINE**

#### **1. - PREMESSA**

Per la realizzazione del Foglio 409 “Zapponeta” si sono seguite le normative riportate nei Quaderni serie III del Servizio Geologico d’Italia ed i relativi aggiornamenti disponibili in rete sul sito del Servizio Geologico d’Italia (già APAT e SGN). In particolare per il rilevamento geologico si sono seguiti il Quaderno n. 1 (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 1992) e le successive modifiche ed integrazioni Quaderno n. 12(3) (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 2009c) per le aree emerse; il Quaderno n. 12(2) (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 2009b) per le aree sommerse; il Quaderno n. 9 (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 2003b) per la classificazione stratigrafica delle unità; il Quaderno n. 2 (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 1996) e le successive modifiche ed integrazioni Quaderno 12(1) (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 2009a) per la rappresentazione cartografica; i Quaderni n. 3 e 6 (Servizio Geologico D’Italia, 1995 e 1997) per l’allestimento della banca dati.

#### **2. - METODI DI STUDIO DELLE AREE EMERSE**

Per la realizzazione della cartografia di superficie e del sottosuolo delle aree emerse, sono stati utilizzati, in modo integrato, diversi approcci.

## 2.1. - RILEVAMENTO GEOLOGICO

Lo studio geologico del Tavoliere di Puglia è risultato estremamente difficoltoso a causa di diversi fattori fra cui: i dislivelli modesti fra le unità terrazzate, le litologie molto variabili, la mancanza di affioramenti naturali, lo spesso strato superficiale di suolo, la cancellazione o l'attenuazione delle morfologie naturali, come delle già modeste scarpate, a causa della meccanizzazione agricola e delle colmate storiche che hanno interessato buona parte della piana costiera.

L'area del Foglio 409 "Zapponeta" quindi, ricadendo in gran parte in pieno Tavoliere di Puglia, presenta tutte queste difficoltà; fa eccezione solo il lembo nord-orientale, occupato dalle prime propaggini del Gargano, in cui esiste invece una notevole abbondanza di affioramenti, costituiti soprattutto da cave in calcari e calcareniti.

Per l'area ricadente nel Tavoliere di Puglia, il rilevamento geologico di superficie ha permesso comunque di individuare e descrivere numerose sezioni, naturali ed artificiali, che si sono rivelate fondamentali per la comprensione dei rapporti latero-verticali fra le diverse unità e per la definizione delle associazioni di facies delle stesse.

Sia per l'area garganica che per quella del Tavoliere, di notevole utilità si è rivelata la fotointerpretazione: sono state esaminate allo stereoscopio le foto aeree dell'Istituto Geografico Militare, voli del 1954 e del 1976. In aggiunta, sono state analizzate le ortofoto, relative agli anni 1994, 2000, 2006, del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare disponibili sul Portale Cartografico Nazionale ([www.pcn.minambiente.it/PCN/](http://www.pcn.minambiente.it/PCN/)), quelle effettuate nel 1997 dall'Agea (Agenzia per le erogazioni in agricoltura) ed infine quelle realizzate dalla Regione Puglia nel 2006 ([ww.sit.puglia.it](http://ww.sit.puglia.it)).

L'analisi delle foto aeree ha consentito all'individuazione delle forme del paesaggio più significative, che sono state poi controllate in successive fasi di rilevamento in campagna.

## 2.2. - DATI DI SOTTOSUOLO

### 2.2.1. - *Dati di pozzo*

Per sopperire alla mancanza di affioramenti naturali si è fatto largo uso, per l'area ricadente nel Tavoliere, di dati di profondità. Questi provengono da numerose fonti ed hanno una precisione ed una attendibilità molto variabile e non sempre adeguata alle esigenze della cartografia geologica.

Tutti i sondaggi disponibili (Fig. 2) sono stati raggruppati in due grandi categorie: perforazioni tarate e perforazioni non tarate e sono riportati nel database allegato al rilevamento.

Nel primo caso (perforazioni tarate) si tratta delle risultanze di perforazioni

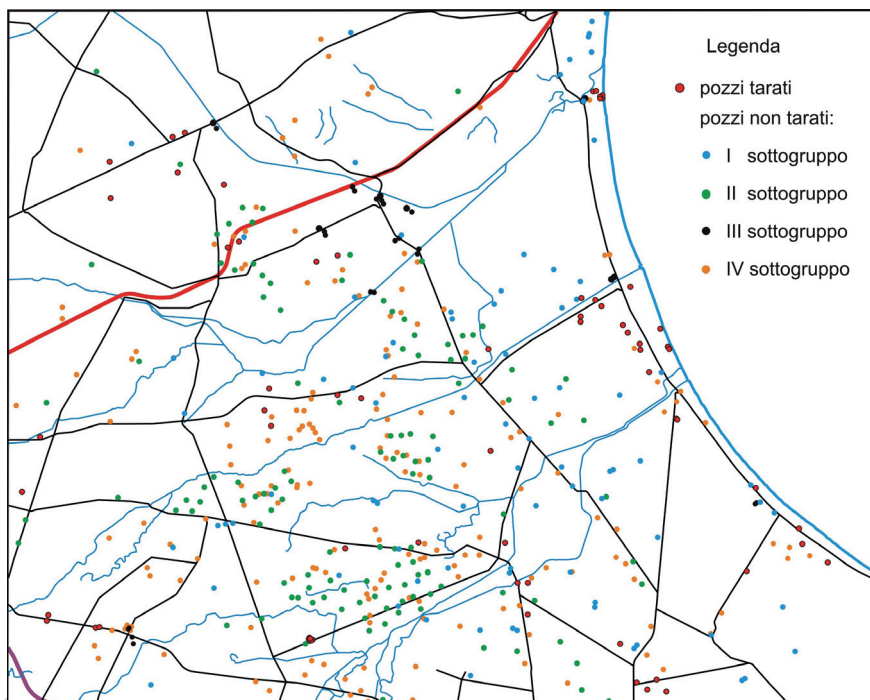


Fig. 2 - Ubicazione delle perforazioni suddivise per tipologia.

eseguite per ricerche idriche, opere di fondazione e sondaggi geognostici effettuati sotto la diretta supervisione degli scriventi o, in alcuni casi di perforazioni realizzate direttamente in proprio (Fig. 3). In quest'ultimo caso, come pure in molti casi di sondaggi geognostici, si ha a disposizione un carotaggio continuo e quindi la precisione delle stratigrafie è molto dettagliata, centimetrica. Negli altri casi la precisione della stratigrafia cambia in funzione del tipo di attrezzatura usata, ad es. nel caso di sonda a percussione è decimetrica o minore.

Al momento sono disponibili **67** perforazioni tarate (sigle varie), nelle quali sono stati per lo più prelevati campioni per ogni variazione litologica e/o a profondità regolari.

Le perforazioni non tarate (allo stato attuale **415**) sono state distinte a loro volta in 4 sottogruppi (Fig. 2).

Il primo sottogruppo è costituito da 87 perforazioni descritte in alcune pubblicazioni scientifiche storiche (DI LONARDO, 1935; COLACICCO, 1951, 1953; TRAMONTE, 1955), siglate con la lettera C. Un esempio è riportato in Fig. 4. Nel secondo sottogruppo sono stati inseriti 121 pozzi, per ricerca di acque sotterranee

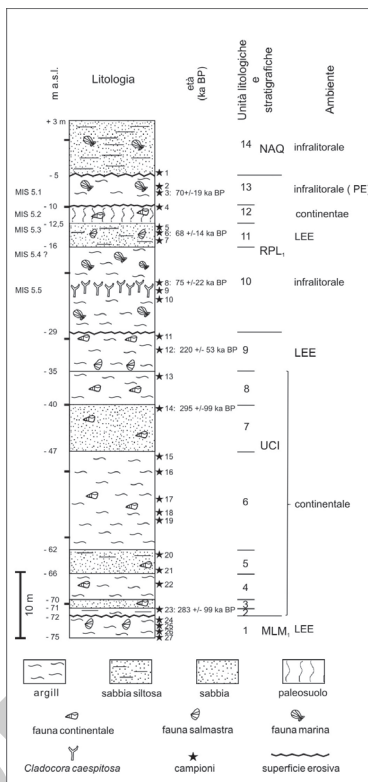


Fig. 3 - Esempio di perforazione tarata: MM4 (mod. da DE SANTIS et alii, 2010; 2013).

28. - Nel giugno 1933, sempre nella tenuta « Colmo d'Ischia II » la Ditta Bonariva esegui a m. 40,00 dal prospetto del fabbricato un foro del diametro di m/m. 175, che spinse fino a m. 105 e che diede a m. 68 acqua affiorante sul p.c. La successione degli strati fu la seguente:

da	0,00	a	0,50	terra vegetale
»	0,50	»	20,00	argilla sabbiosa - livello freatico salso a m. 4,50
»	20,00	»	26,00	conglomerato argilloso
»	26,00	»	62,00	argille con qualche strato di sabbie e ghiaia
»	62,00	»	65,00	sabbie
»	65,00	»	66,00	argille
»	66,00	»	68,00	sabbie acquifere con acqua affiorante
»	68,00	»	69,00	argilla
»	69,00	»	72,00	ghiaia e sabbia acquifera con acqua traboccante sul suolo
»	72,00	»	105,00	argilla blu pliocenica

Fig. 4 - Esempio di stratigrafia di pozzo non tarato, C28 (COLACICCO, 1953).

per l'approvvigionamento idrico delle aziende della sezione speciale della riforma fondiaria in Puglia e Lucania, forniti dall'Ente Irrigazione (sigla E) di cui 29 relativi a pozzi a piccolo diametro (sigla Ep). Un esempio è riportato in Fig. 5. L'ubicazione di questi sondaggi spesso coincide con la simbologia dei pozzi riportati nella cartografia dell'IGMI (scale 1:25.000 e 1:50.000).

Nel terzo sottogruppo sono stati inseriti i dati provenienti da 30 perforazioni a scopo geognostico realizzate dal Consorzio di Bonifica per la Capitanata (sigla In) o da ditte specializzate.

Le stratigrafie delle perforazioni appartenenti a questi primi tre sottogruppi sono documenti preziosi poiché spesso corredati da monografie che illustrano con un certo dettaglio l'ubicazione del pozzo, le litologie ed i livelli idrici intercettati nel corso della perforazione.

Infine, il quarto sottogruppo comprende 177 perforazioni per ricerche idriche effettuate da privati, comunicate dagli stessi al Genio Civile (sigla G), all'ISPRA (archivio L. 464/84; sigla ISPRA), all'Archivio di Stato, o forniteci direttamente dalle ditte che hanno realizzato il pozzo (sigla B e Pt). Le stratigrafie recuperate erano di gran lunga più numerose, ma è stato necessario effettuare uno *screening* essendo non di rado poco attendibili. Difatti non sempre la stratigrafia è stata realizzata contestualmente alla perforazione, ma in molti casi era allegata o

ENTE IRRIGAZIONE - BARI  
RICERCA DI ACQUE SOTTERRANEE PER L'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO  
DELLE AZIENDE DI RIFORMA FONDIARIA

DIREZIONE PROVINCIALE di FOGGIA

Comune di Manfredonia Azienda Coppale Chiado

Pozzo N. 1

Ubicazione: sul confine dei padri n° 99-100 a circa m.10.00  
dal ciglio della strada interpadriale.

Ditta appaltatrice S.A.F. NAPOLI

inizio lavori 2 luglio 1953

ultimazione lavori 24 luglio 1953

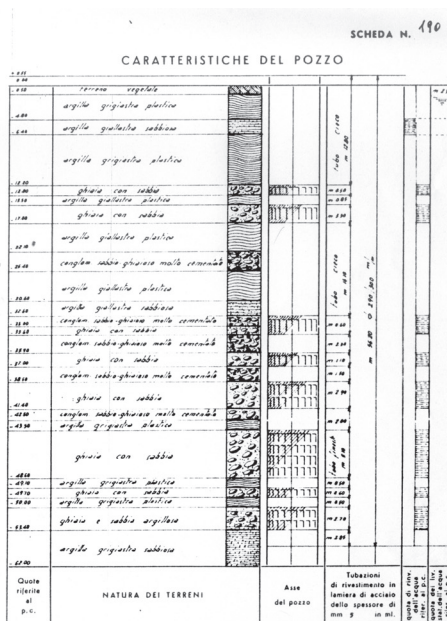
profondità del pozzo ml. 62.00 del p.c.

livello d'acque nel pozzo ml. 230 del p.c.

portata misurata lt/minuto primo 240 con depressione ml. 14.70

NOTE:

Bari, 9 ottobre 1953





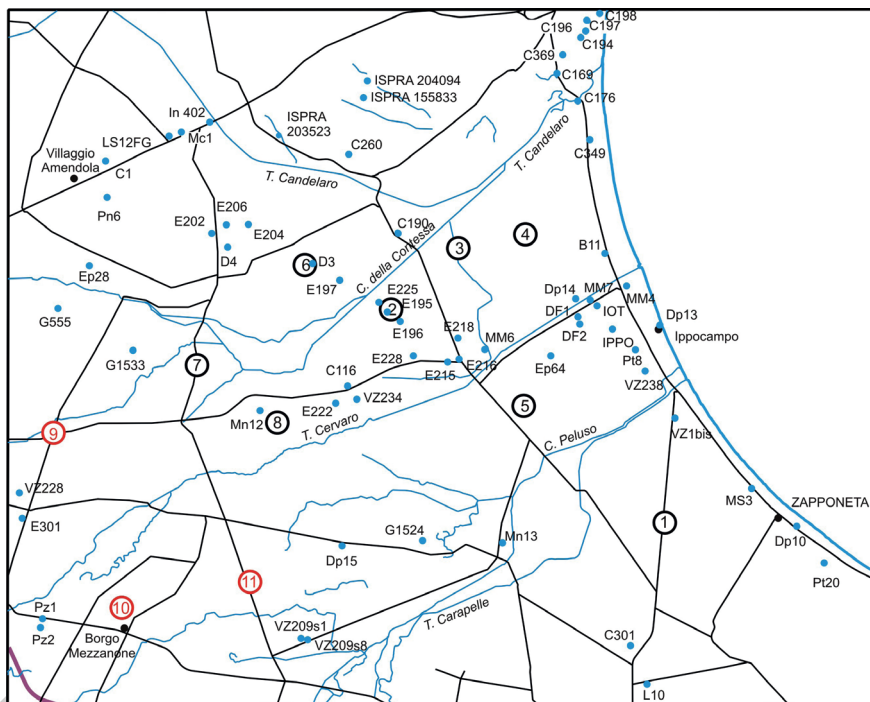


Fig. 6 - Ubicazione profili sismici e pozzi riportati nel testo. I cerchietti neri e rossi indicano i punti di indagine sismica a riflessione e rifrazione, rispettivamente eseguiti ex novo nell'ambito del rilevamento del Foglio 409 "Zaponnetta" o precedentemente. I puntini blu indicano le perforazioni che si sono rivelate più utili per l'interpretazione geologica.

più utili per l'interpretazione geologica e che sono state citate nelle Note, sono riportate in Fig. 6 e nella Carta Geologica alla scala 1:50.000.

### 2.2.2. - Sismica a riflessione e rifrazione

L'indagine sismica a riflessione è consistita nell'esecuzione di 8 profili sismici a riflessione (Fig. 6).

I profili sismici a riflessione eseguiti hanno le seguenti caratteristiche:

- Profili 1, 3, 4, 5, 8: lunghezza totale 790 m, numero geofoni utilizzati 48, spaziatura geofonica 10 m, numero stazioni 80, numero sorgenti di energizzazione 5, distanza tra sorgenti di energizzazione successive 40 m.
- Profilo 2: lunghezza totale 555 m, numero geofoni utilizzati 48, spaziatura geofonica 5 m, numero stazioni 80, numero sorgenti di energizzazione 5, distanza tra sorgenti di energizzazione successive 20 m.



- Profili 6, 7: lunghezza totale 750 m, numero geofoni utilizzati 48, spaziatura geofonica 10 m, numero stazioni 76, numero sorgenti di energizzazione 5, distanza tra sorgenti di energizzazione successive 40 m.

Le sorgenti di energizzazione sono ubicate nelle stazioni 1, 5, 9, 13, 17.

Per l'esecuzione dei profili sismici è stato utilizzato il sismografo OYO a 48 canali (mod. MC SEIS-SX 48), con acquisizione computerizzata dei dati.

Come sorgente è stata utilizzata una massa in ferro del peso di 650 kg in caduta libera da 18 m di altezza. In questo modo, poiché:

$$L = P \cdot h \cdot g$$

(L: lavoro, energia; P: peso della massa in caduta libera; h: altezza di caduta; g: accelerazione gravitazionale), l'energia totale è pari a circa 120000 J.

Come rilevatori sono stati adoperati geofoni verticali (mod. L-10AR ) a 14 Hz "shuntati", cioè a ciascun geofono è stato applicato un derivatore di corrente, quindi una resistenza elettrica, in modo da diminuire il picco ed allargare la banda di frequenza.

La tecnica di acquisizione è stata la CMP (*Common Mid Point*), in modalità *multioffset*: per piccoli *offset* vengono esaminate meglio porzioni di sottosuolo poco profonde, per *offset* maggiori si ha una migliore risposta per profondità di investigazione maggiori.

Questa tecnica, unita alla modalità FORWARD, cioè con scoppi effettuati avanti rispetto alla disposizione dello stendimento geofonico, ha permesso di migliorare la visualizzazione di segnali poco visibili a causa della disposizione sorgente-ricevitore.

Dopo la disposizione sul terreno di cavi e geofoni, si è provveduto al controllo di questi ultimi in base al loro segnale, che doveva risultare più o meno uniforme. Laddove la sorgente era più distante dagli stendimenti si è utilizzata un'amplificazione massima.

Considerato che la velocità delle onde P nelle argille consolidate è di circa 2000 m/s, è stato utilizzato un tempo di acquisizione di 2 s, utile per raggiungere i 2000 m di profondità.

Per ogni energizzazione sono stati acquisiti i sismogrammi sommati dopo almeno 3-4 battute, in modo da migliorare il rapporto segnale/disturbo.

Per ciascun profilo e per ciascuna sorgente-stazione vengono riportati i relativi sismogrammi, che mostrano le tracce dei segnali. Sulle ascisse ci sono le posizioni dei 48 geofoni e sulle ordinate i tempi in millisecondi. Le riflessioni sono posizionate in profondità in millisecondi, quindi le profondità in metri, associabili alle sezioni tempo, vengono ottenute utilizzando una velocità media, ricavata sia da arrivi rifratti, sia da analisi di velocità, che verranno effettuati nella successiva elaborazione.

L'indagine sismica a rifrazione è consistita nell'esecuzione di 8 profili sismici a rifrazione con onde longitudinali (onde P).

I profili sismici a rifrazione eseguiti hanno le seguenti caratteristiche:

- Profili 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8: lunghezza totale 470 m, numero geofoni utilizzati 48, spaziatura geofonica 10 m, numero sorgenti di energizzazione 2, (E: posizionata al centro dello stendimento, tra i geofoni 24 e 25; A: posizionata a 20 m dal geofono 1).
- Profilo 2: lunghezza totale 235 m, numero geofoni utilizzati 48, spaziatura geofonica 5 m, numero sorgenti di energizzazione 2 (E: posizionata al centro dello stendimento, tra i geofoni 24 e 25; A: posizionata a 10 m dal geofono 1).
- Per l'esecuzione dei profili sismici è stato utilizzato il sismografo OYO a 48 canali (mod. MC SEIS-SX 48), con acquisizione computerizzata dei dati.
- Per generare le onde sismiche longitudinali è stata utilizzata una sorgente del tipo "mazza battente" su piastra. Come rilevatori sono stati adoperati geofoni verticali (mod. L-10AR) a 14 Hz.

### 2.3. - ELABORAZIONE DATI

I dati (sia di superficie sia di sottosuolo) riguardanti le aree emerse sono stati elaborati e correlati sulla base di orizzonti guida, o di datazioni (vedi paragrafi 3.42 e 3.4.3). E' stato quindi ricostruito lo schema di massima delle unità sedimentarie ed il loro andamento in profondità. Gli elaborati grafici (carta geologica in scala 1:50.000, tavolette in scala 1:25.000, sezioni geologiche, ecc.), sono stati realizzati con l'ausilio di vari *software* di grafica vettoriale.

E' stata contemporaneamente realizzata una banca dati dei campioni utilizzando il *software* ASC.

### 3. - METODI DI STUDIO DELLE AREE SOMMERSE

Per il rilievo della porzione marina del Foglio 409 "Zapponeta", il lavoro si è articolato in una prima fase di raccolta di dati geofisici *ex-novo*, una seconda fase di elaborazione dei dati geofisici, una terza fase di campionamento del fondo marino e una quarta fase di elaborazione finale di tutti i dati raccolti. Rispetto alle prescrizioni del Servizio Geologico relative al rilevamento delle aree sommerse, ci si è orientati, viste anche le scarse risorse finanziarie disponibili, a realizzare una carta del fondo marino (obbligatoria), tralasciando le indagini sul sottofondo (facoltative).

Come previsto dalle linee guida, le basi batimetriche utilizzate sono state quelle dell'Istituto Idrografico della Marina (IIM) integrate da quelle, più recenti e a maggior risoluzione, del CNR.

La base batimetrica del CNR è stata prodotta nell'ambito della realizzazione della Carta geologica dei Mari Italiani alla scala 1:250.000 (SERVIZIO GEOLOGICO

D'ITALIA, 2011a) e ha un'equidistanza fra le isobate di 1 m: poiché è il prodotto più recente e dettagliato, è stato scelto per lo studio dei fondali marini dell'area sommersa del Foglio 409 "Zapponeta".

In generale quindi, le basi batimetriche già esistenti, considerando anche la morfologia uniforme e poco accidentata dei fondali del Golfo di Manfredonia, è da ritenersi valida; di conseguenza, si è evitato di effettuare rilievi morfo-batimetrici con single beam o multi beam, mentre sono stati effettuati rilievi morfologici tramite side-scan sonar (SSS) e sismostratigrafici tramite sub-bottom profiler (SBP).

La parte sommersa del Foglio si estende per circa 116 km<sup>2</sup> e presenta un fondale dolcemente digradante verso il largo; l'isobata più profonda è la -15 m.

In assenza di perforazioni a mare, l'interpretazione dei dati sismici è stata eseguita esclusivamente dall'analisi delle:

- sismofacies evidenziate dai profili SBP (*Sub Bottom Profiler*);
- immagini restituite dal SSS (*Side Scan Sonar*);
- litologie relative alle campionature del fondo;
- correlazione con le unità riconosciute a terra.

In queste note si fa riferimento soprattutto ai profili SBP poiché la maggior parte delle informazioni sulla geologia della parte a mare è derivata proprio dalla loro analisi. I profili SSS infatti sono di relativa utilità in fondali poco diversificati come quelli in oggetto, per di più fortemente disturbati da attività di pesca. Nel caso del Foglio 409 "Zapponeta", le immagini SSS si sono più che altro rivelate utili per confermare l'interpretazione di alcune facies sismiche laddove esse affioravano sul fondo.

Generalmente, la penetrazione del segnale sismico, nei profili SBP, si è spinta fino a circa 40 metri al di sotto del fondo del mare.

#### 4. - DATAZIONE DELLE UNITA' SEDIMENTARIE

La datazione delle unità sedimentarie è stata fatta attraverso studi biostratigrafici, con il metodo del radiocarbonio (C<sup>14</sup>), della racemizzazione degli amminoacidi (AAR), nonché con l'utilizzo di tefrostratigrafia.

##### 4.1 - BIOSTRATIGRAFIA

Lo studio micropaleontologico delle unità affioranti nel Foglio 409 "Zapponeta" è stato condotto sulle associazioni a foraminiferi e a nannofossili calcarei, tramite l'analisi rispettivamente di lavati e di *smear slides*. Per lo studio dei nannofossili calcarei l'analisi è stata effettuata al microscopio ottico polarizzatore a 1000 ingrandimenti; sulle associazioni sono state condotte analisi qualitative osservando generalmente un'area pari a circa 300 campi visivi e, per alcuni *taxa*



Tab.IV - Schema bio-cronostratigrafico del Pliocene (mod. da MONEGATTI &amp; RAFFI 2007)

CHRONO STRATIGRAPHY	CALCAREOUS PLANKTON BIOSTRATIGRAPHY			MOLLUSCAN BIOSTRATIGRAPHY	
	CITA, 1975 emend SPROVIERI, 1993	Rio et alii, 1990	BIOEVENTS	MPMU MONEGATTI & RAFFI (2007)	BIOEVENTS MONEGATTI & RAFFI (2001)
2.0	GELASIAN MPL 6	<i>Dictyoc. productus</i> <i>Discoaster broueri</i>	<i>Discoaster broueri</i>	MPMU4	<i>Venus libellus</i> <i>Thrachycardium multico-statum</i>
			<i>G.lia inflata</i>		
2.5	MPL 5b	<i>Discoaster broueri</i>	<i>G.lia bononiensis</i>	MPMU3	<i>Pecten flabelliformis</i> <i>Chlamys scabrella</i> <i>Pelecycora islandicoides</i>
	MPL 5a		<i>Discoaster pentaradiatus</i>		
3.0	PIACENZIAN MPL 4b	<i>Disc. pentarad.</i> <i>Discoaster tamalis</i>	<i>Discoaster tamalis</i>	MPMU2	<i>Terebridae spp.</i> <i>Conidi spp.</i> <i>Corbula cocconi</i>
			<i>Sphaerodinellopsis spp.</i> <i>G.lia bononiensis</i>		
3.5	ZANCLEAN MPL 2	<i>Discoaster tamalis</i>	<i>G.lia puncticulata</i>	MPMU1	<i>Isognomon maxillatus</i> <i>Chlamys latissima</i> <i>Callista italica</i> <i>Pelecycora gigas</i> <i>Strombus coronatus</i>
			<i>G.lia margaritae</i> FCO		
5.0	MPL 1	<i>Amaurolithus tricorniculatus</i>			

4.2. - DATAZIONI CON IL METODO C<sup>14</sup>

Quattordici campioni (Tab. V) sono stati sottoposti a datazione con il metodo del radiocarbonio mediante la tecnica della spettrometria di massa ad alta risoluzione (AMS). Le analisi sono state effettuate presso: il Centro di Datazione e Diagnostica (CEDAD) dell'Università di Lecce (Id. Lab. LTL); il *Center for Applied Isotope Studies* dell'Università della Georgia, USA (Id. Lab. UG); i *Geochron Laboratories, Kruger Enterprises Inc.*, Cambridge Massachusetts, USA (Id. Lab. GX); l'*Ångstrom Laboratory, Division of Ion Physics*, 14C-LAB, Uppsala University (Id. Lab. Ua).

Tab. V - Datazioni radiometriche  $^{14}\text{C}$  AMS.

LOCALITÀ	CAMPIONE	LAB. ID.	MATERIALE	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$^{14}\text{C}$ age BP
Torrente Cervaro	VZ193a2	UG03019	Hygromiidae	-9,8	2.100±30
	VZ193b	UG03020	<i>Cerneuella virgata</i> , <i>C. cisalpina</i>	-8,7	2.150±40
Passo breccioso	VZ166b1	UG03017	<i>Cerneuella virgata</i>	-9,9	7.150±40
Ippocampo	IPPO1 3/4	GX27854	<i>Posidonia</i>	-26.2	2.080±40
De Feo	DF1-3.45	D-AMS 005115	<i>Ammonia</i> sp.	0.2	5747±33
	DF1-4,65	UG02378	sedimento	-24,9	5.250±40
	DF1-9,45	UG02376	sedimento	-25,6	31.930±170
	DF2-9.75	D-AMS 005116	<i>Ammonia</i> sp.	-12.1	6.240±31
Panetteria del Conte	VZ 169d	UG03018	<i>Cerneuella virgata</i>	-9,4	19.370±80
Coppa Nevigata	CN3-6,55	GX30409	sedimento	-20,9	5.520±50
	CN3-1,00	GX30406	semi	-25,5	140±40
	CN2-1,16	GX27501	semi	-25,8	2.870±40
	CN2+0,96	GX26194	<i>Ovatella myosotis</i>	-9,3	370±50
	CN5-1,89	Ua14599	sedimento	-22,2	3.000±80
	CN5-2,19	Ua14598	sedimento	-24	3.195±80
Isola degli Olivi di Torelli	IOT1	GX24885	<i>Cerastoderma glaucum</i>	-2	5.470±40
Posta Piana	VZ68e	LTL1959A	<i>Helix pomatia</i>	-19.6	34.405±600
	VZ68f	LTL1963A	Helicidae	-17.0	4.520 ± 70

#### 4.3. - DATAZIONI CON IL METODO DELLA RACEMIZZAZIONE DEGLI AMMINOACIDI

Grazie ad una collaborazione con il prof. Trinidad Torres e il dott. José E. Ortiz, numerosi campioni sono stati sottoposti a datazione con il metodo della racemizzazione degli amminoacidi presso il *Laboratorio de Estratigrafia Biomolecular* dell'Università Politecnica di Madrid. I risultati ottenuti da queste datazioni e le attribuzioni cronologiche di tutte le unità datate ricadenti nell'area del Foglio 409 "Zapponeta" sono riportati in DE SANTIS *et alii* (2010, 2013).

Il metodo è stato applicato su gusci di ostracodi di *taxa* differenti secondo procedure già applicate in passato (ORTIZ *et alii*, 2002; 2004; TORRES *et alii*, 1997). La datazione su ostracodi può rivelarsi molto utile perché essi possono essere presenti in tutti gli ambienti in cui ci sia dell'acqua: questo permette quindi, almeno in via teorica, di datare anche successioni con alternanza di sedimenti marini e continentali (come i depositi terrazzati del Tavoliere di Puglia) consentendo di delimitare e precisare le varie fasi deposizionali.

Le datazioni sono state effettuate sui seguenti taxa: *Cyprideis torosa*, *Candona neglecta*, *Ilyocypris gibba*, *Leptocythere* sp., *Loxoconcha* sp., *Heterocypris* sp., *Hemicyprideis* sp., *Cytheroptheron* sp., *Carinocythereis* sp., *Cushmanidea* sp. ed *Heterocythereis* sp.

Le parti mineralizzate degli esseri viventi contengono amminoacidi presenti solo nella forma levogira (L-amino acidi). Dopo la morte dell'organismo, gli L-amino acidi ruotano gradualmente trasformandosi nella forma destrogira (D-amino acidi). Quindi, il rapporto D/L degli amminoacidi è funzione del tempo trascorso.

Nel presente studio sono stati usati, come indicatori del tempo, i rapporti D/L di due amminoacidi: l'acido aspartico e l'acido glutamico, perché essi costituiscono più del 50% del contenuto complessivo di amminoacidi presenti nei gusci di ostracodi.

La scelta di questi ultimi organismi per le datazioni, oltre alle ragioni già menzionate, si deve al fatto che la struttura dei loro gusci assicura una migliore conservazione degli amminoacidi dopo la morte (KAUFMAN, 2000).

Da ciascun campione di sedimento è stato ottenuto un certo numero di subcampioni, costituiti da valve di ostracodi, fino ad un numero massimo di 14 subcampioni. Da ogni subcampione sono stati ricavati due rapporti D/L: uno per l'acido aspartico (D/L Asp) e uno per l'acido Glutamico (D/L Glu). Da ogni rapporto D/L è stata ottenuta un'età usando algoritmi di conversione messi a punto da ORTIZ *et alii* (2004). In questo modo, per ogni campione, è stato ottenuto un numero di datazioni pari al doppio del numero dei suoi subcampioni. L'età finale di un campione è stata ottenuta dalla media di tutte le età ricavate per i suoi subcampioni.

Molti campioni datati con il metodo della racemizzazione sono stati scartati in due fasi di filtraggio consecutive: la prima in laboratorio, la seconda sulla base della compatibilità delle età fornite con il contesto geologico-stratigrafico (DE SANTIS *et alii*, 2013).

Il rigetto dell'età di un campione da parte del laboratorio è avvenuto quando tutti i suoi subcampioni sono stati scartati per uno dei seguenti motivi:

a) tracce di contaminazione recente; la contaminazione recente è stata determinata dal rapporto di abbondanza della forma levogira dell'amminoacido Serina (L-Ser) rispetto alla forma levogira dell'acido aspartico (L- Asp). Se il rapporto L-Ser/L-Asp superava il valore di 0,8, il subcampione è stato considerato contaminato, perché la Serina è un amminoacido che si decompone rapidamente e una sua quantità significativa viene interpretata come traccia di contaminazione recente (KAUFMAN, 2006).

b) rapporti D/L Asp o D/L Glu ricadenti al di fuori dell'intervallo 2s del gruppo dei subcampioni o al di fuori del *trend* di covarianza del gruppo dei subcampioni (KOSNIK & KAUFMAN, 2008; KAUFMAN, 2003, 2006; LAABS & KAUFMAN, 2003)

Alle età valide fornite dal laboratorio è stata applicata una successiva fase di filtraggio calandole nel contesto geologico e stratigrafico, secondo il criterio di filtraggio c (DE SANTIS *et alii*, 2013): sono stati scartati i campioni la cui età si discostava in modo anomalo rispetto ad un gruppo maggioritario di età provenienti dalla stessa unità, o campioni la cui età si discostava in modo anomalo rispetto all'età ricavata per unità o livelli sovrastanti o sottostanti.

Inoltre, in alcuni casi, poiché i campioni provenivano da perforazioni, la quantità di materiale a disposizione si è rivelata sufficiente per una sola analisi e quindi non è stato possibile ripetere la datazione; tuttavia le date ricavate sono state inserite ed interpretate.

Del totale delle 95 datazioni ottenute, 53 sono risultate valide e 42 sono state scartate (criteri a, b, c.).

#### 4.4 - TEFROSTRATIGRAFIA

In un sondaggio effettuato nei pressi della Masseria di Coppa Nevigata (CN2; CALDARA *et alii*, 2001) è stato rinvenuto ad una profondità compresa tra -1,90 m e -4,39 m s.l.m., un deposito riferibile ad una laguna salmastra a *Cerastoderma glaucum* ed *Hydrobiidae*, nel quale si rinviene un livello a *tephra* (cfr. § IV.4.8).

L'orizzonte piroclastico ha offerto la possibilità di integrare e rifinire l'inquadramento cronologico dei terreni attraversati, attraverso l'attribuzione del materiale vulcanico ad un evento eruttivo di età nota.

A questo scopo è stata utilizzata la composizione geochemica del vetro vulcanico, determinata attraverso la microanalisi dei singoli granuli pomice.

Il chimismo di un *tephra* in facies distale è uno strumento efficace ed attendibile per discriminare le varie sorgenti vulcaniche ed effettuare correlazioni su lunghe distanze (WESTGATE & GORTON, 1981). Il carattere rimaneggiato del deposito (vedi oltre) e la non disponibilità del campione tal quale hanno impedito l'uso dell'associazione mineralogica come ulteriore elemento di correlazione.

Per procedere alla caratterizzazione geochemica, alcune decine di granuli pomice sono stati isolati manualmente dalle frazioni relative agli intervalli granulometrici  $0,5 \div 0,250$  mm e  $0,250 \div 0,125$  mm. I granuli, separati mediante osservazione allo stereomicroscopio, sono stati quindi montati su un portacampioni e ricoperti con una sottile patina di grafite. Ciascuna pomice è stata analizzata per il suo contenuto in elementi maggiori con un sistema spettrometrico a dispersione di energia (EDS) accoppiato ad un microscopio elettronico a scansione (SEM), con il quale è stato possibile effettuare la caratterizzazione morfologica dei granuli, oltre a quella geochemica. Le analisi sono state effettuate presso il CNR, Laboratorio di Microscopia Elettronica della Sezione di Milano dell'Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali, nelle seguenti condizioni di lavoro: tempo di accumulo 50 s; voltaggio 20 kV, corrente del fascio 0,18 nA (filamento in  $\text{LaB}_6$ ), ed utilizzando



standard sia naturali che sintetici per la calibrazione. La composizione elementare, espressa in percentuale degli ossidi, è stata calcolata usando il programma di correzione di "ZAF". L'errore medio delle analisi è stimabile in circa il 2-5% della relativa concentrazione, ma può raggiungere il 20% circa per Na e per gli elementi con concentrazione inferiore all' 1%.

PROGETTO  
CARG

## IV - STRATIGRAFIA

### 1. - PREMESSA

Per la suddivisione stratigrafica dei terreni si è fatto riferimento ai Quaderni serie III del Servizio Geologico d'Italia ed ai relativi aggiornamenti disponibili in rete sul sito dell'ISPRA (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA 2000, 2002, 2003a). In particolare, per il rilevamento geologico si è seguito il Quaderno n. 1 (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA 1992) e le successive modifiche ed integrazioni (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA 2009c).

Le unità del substrato sono state classificate secondo il criterio litostratigrafico; i depositi quaternari sia continentali che marini sono stati classificati in unità a limiti inconformi (SALVADOR, 1987, 1994).

Sulla base dei rilevamenti geologici di superficie, dei dati di profondità e delle analisi stratigrafiche di dettaglio condotte, sono state distinte le unità che verranno descritte nei paragrafi successivi partendo dalla più antica alla più recente.

La più antica discontinuità individuata separa le unità carbonatiche mesozoiche della piattaforma apula (calcare di Bari, CBA) dai depositi dell'Avanfossa Bradanica. I primi depositi di questo bacino sono costituiti da calcareniti basali dello Zancleano-Piacenziano, riferite in letteratura alla Calcarenite di Gravina (GRA). Seguono in continuità di sedimentazione, sempre secondo la letteratura, le argille subappennine (ASP). Il contatto tra queste due unità, per quanto riguarda l'area

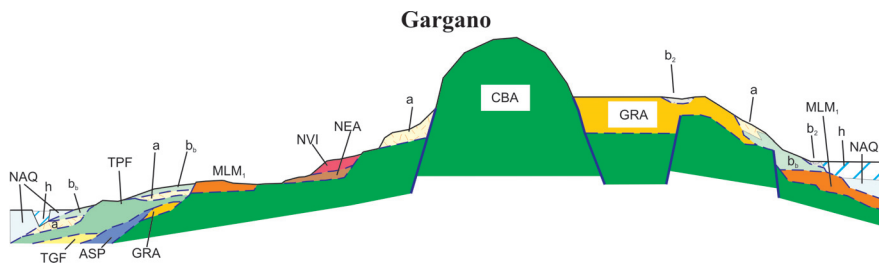


Fig. 7 - Schema dei rapporti stratigrafici delle unità affioranti nell'area garganica e pedegarganica.

ai piedi del Gargano, non è riscontrabile in affioramento; inoltre, la continuità di sedimentazione non è supportata da analisi biostratigrafiche condotte su carotaggi nell'area (Fig. 7).

Una discontinuità separa le argille subappennine (ASP), affioranti diffusamente nella Fossa Bradanica (AZZAROLI *et alii*, 1968a, CANTELLI 1960, RICCHETTI 1967), dai depositi sabbioso-conglomeratici in facies marina e continentale ascrivibili al Pleistocene medio, raggruppati nel sistema di Cerignola (RGL). Tali depositi costituiscono la gran parte dei terreni affioranti nell'area del Foglio "Cerignola" e solo marginalmente si ritrovano nel Foglio "Zapponeta", dove affiorano le Sabbie di Torre Quarto (STQ), una delle due unità litostratigrafiche del sistema (Fig. 8).

La Calcarene di Gravina (GRA), le argille subappennine (ASP) e il sistema di Cerignola (RGL) sono stati inclusi nelle Unità dell'Avanfossa Bradanica; tuttavia, l'unità ASP, raggiunta solo in perforazione, presenta nell'area dei due fogli facies che indicano un contesto di sollevamento regionale e superficializzazione del bacino di avanfossa; stesso discorso vale per l'unità RGL, che invece è affiorante.

A tetto delle unità dell'Avanfossa, o direttamente sulle unità carbonatiche mesozoiche della piattaforma apula, è stata riconosciuta una superficie di inconformità di tipo erosivo e di importanza regionale, che costituisce la base del supersistema del Tavoliere di Puglia (TP). Il supersistema include al suo

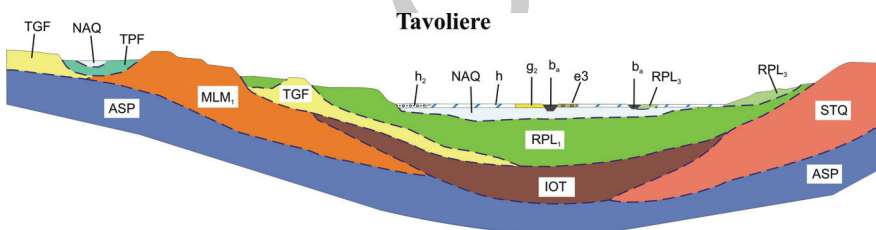


Fig. 8 - Schema dei rapporti stratigrafici delle unità del Tavoliere di Puglia.

Tab. VI - *Quadro delle unità stratigrafiche del Foglio 409 "Zapponeta"*

ETÀ	CATEGORIA	NOME		SIGLA	LAVORI PRECEDENTI		
Olocene	unità non distinte in base al bacino di appartenenza	depositi antropici		h	Alluvioni per colmata		
		saline		h <sub>2</sub>	Non distinte		
		depositi palustri		e <sub>3</sub>	Non distinti		
		depositi di spiaggia		g <sub>2</sub>	Cordoni litorali e dune		
		coltre eluvio-colluviale		b <sub>2</sub>	Depositi colluviali ed eluviali		
		depositi alluvionali attualmente in evoluzione		b <sub>a</sub>	Alluvioni recenti ed attuali		
Pleistocene superiore-Olocene	unità non distinte in base al bacino di appartenenza	depositi alluvionali recenti		b <sub>b</sub>	Non distinti		
		depositi di versante		a	Brecce cementate ad elementi calcarei		
		sintema di Masseria Inacquata		NAQ	Alluvioni recenti ed attuali/cordoni litorali e dune		
	Supersintema del Tavoliere di Puglia (TP)	sintema dei torrenti Carapelle e Cervaro (RPL)	subsintema delle Marane La Pidocchiosa - Castello		RPL <sub>3</sub>	Alluvioni terrazzate	
			subsintema dell'Incoronata		RPL <sub>1</sub>		
		sintema di Masseria Finamondo		TPF	Alluvioni terrazzate		
		sintema di Foggia		TGF	Alluvioni terrazzate		
		sintema di Isola degli Olivi di Torelli		IOT	Non distinta		
		Pleistocene medio	sintema di Masseria La Motticella (MLM)	subsintema di Amendola		MLM <sub>1</sub>	Depositi Marini Terrazzati
				sintema di Masseria Coppa Nevigata		NVI	Non distinta
sabbie di Coppa Nevigata			NEA	Non distinta			
Pliocene	unità della avanfossa Bradanica	sintema di Cerignola (RGL)	sabbie di Torre Quarto	STQ	Depositi Marini Terrazzati		
				argille subappennine	ASP	argille subappennine	
Giurassico medio <i>p.p.</i> -Cretacico inf. <i>p.p.</i>	unità della piattaforma apula	Calcarenite di Gravina		GRA	Calcari a briozoi		
		calcare di Bari		CBA	Calcari oolitici di Coppa Guardiola		

interno sintemi e subsintemi individuati sulla base del riconoscimento di superfici inconformi di carattere locale (Tab. VI).

Le unità stratigrafiche sopra descritte sono ricoperte in modo discontinuo da

depositi alluvionali recenti ( $b_b$ ), depositi alluvionali attualmente in evoluzione ( $b_a$ ), da depositi di versante (a), da coltre eluvio-colluviale ( $b_2$ ), da depositi palustri ( $e_3$ ), da depositi antropici (h), da depositi di spiaggia ( $g_2$ ) e da saline ( $h_2$ ) ascrivibili all'Olocene. Tali depositi sono stati classificati come “Unità non distinte in base al bacino di appartenenza” e per essi si è mantenuto il criterio informale basato sulla genesi che ne ha guidato il riconoscimento e la suddivisione.

Le unità stratigrafiche riconosciute nel Foglio “Zapponeta” sono sintetizzate nella Tab. VI; oltre all'età, viene indicata la denominazione utilizzata nella letteratura precedente.

## 2. - UNITÀ CARBONATICHE MESOZOICHE DELLA PIATTAFORMA APULA

### 2.1. CALCARE DI BARI (CBA)

Si tratta di una unità formazionale validata (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2003a). Essa è riportata, nella precedente edizione della Carta Geologica d'Italia, con il nome di calcari oolitici di Coppa Guardiola (MERLA *et alii*, 1969) mentre, nel Foglio 369 “San Severo” (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2011c), l'unità è descritta come Calcarea di Bari (MORETTI *et alii*, 2011) nell'accezione di SPALLUTO (2004) e SPALLUTO *et alii* (2005).

#### 2.1.1. - *Membro di Monte Calvo* (CBA<sub>1</sub>)

Il membro di Monte Calvo affiora solo in corrispondenza delle prime propaggini del massiccio del Gargano.

In linea generale, è costituito prevalentemente da calcari oopelmicritici a struttura fango sostenuta (*wackestone-mudstone*) di colore bianco, avana, rosato, a cui si alternano livelli a *wackestone-packstone* o *grainstone* oolitico di colore dal grigio al grigio-rosato. Sono presenti livelli macrofossiliferi a molluschi (gasteropodi e bivalvi). Il tutto è organizzato in strati e banchi da pochi decimetri a pochi metri di spessore. Il limite inferiore della formazione non è affiorante; il limite superiore è costituito o dalla superficie topografica o da una superficie erosiva che coincide con la base della calcarenite di Gravina (GRA), delle sabbie di Coppa Nevigata (NEA), del sintema di Masseria Coppa Nevigata (NVI), del subsintema di Amendola (MLM<sub>1</sub>), della coltre eluvio-colluviale ( $b_2$ ), dei depositi di versante (a), dei depositi alluvionali recenti ( $b_b$ ) e dei depositi antropici (h).

La migliore esposizione di questa unità si ha sulle pareti della Cava de Bellis (VZ232), gestita dall'omonima ditta e collocata all'altezza del km 176,600 della statale n. 189 Foggia-Manfredonia. Qui è possibile osservare uno spessore di circa 70 metri, in cui il Calcarea di Bari presenta una tipica organizzazione ciclica delle



Le ooliti che caratterizzano la litofacies basale hanno nuclei formati generalmente da bioclasti, da ooliti più piccole, da peloidi, da frammenti di altre ooliti, caratteristica quest'ultima che testimonia la rottura e la rigenerazione delle ooliti stesse. La loro struttura è generalmente fibroso raggiata; spesso, negli interstizi tra le ooliti, è presente cemento vadoso a menisco. Le oncoliti si presentano come involucri che inglobano ooliti e/o bioclasti e/o frammenti di alghe verdi e/o peloidi e a volte possono raggiungere dimensioni anche grandi.

Macroscopicamente, la facies basale ha l'aspetto di un calcare particellare a colorazione grigiastra, ovvero una calcarenite grigia. I clasti distinguibili ad occhio nudo sono ooliti, oncoliti ed intraclasti. Il passaggio al termine successivo del ciclo avviene a volte bruscamente, a volte per alternanza, a volte gradualmente con un impoverimento verso l'alto dei clasti ed un aumento della micrite.

Tutte le caratteristiche finora elencate permettono di attribuire la facies basale dei cicli di sedimentazione dei calcari ad un ambiente variabile dall'intertidale alla laguna ristretta.

Litofacies 2) *packstone-wackestone* con abbondanti frammenti biogenici tra cui gusci di molluschi ricristallizzati, frammenti di gasteropodi anche di grosse dimensioni, intraclasti micritici, ooliti, oncoliti e peloidi, il tutto è a volte interessato da strutture di essiccamento tipo *fenestrae* riempite da calcite spatica; *mudstone-wackestone* o *wackestone* con scarsi ooliti, peloidi, bioclasti, frammenti di alghe verdi; anche questa litofacies può essere a volte interessata da strutture di essiccamento tipo *fenestrae*, riempite da calcite spatica.

Questa litofacies intermedia presenta un contenuto faunistico generalmente abbondante costituito da *Valvulina lugeoni* SEPTFONTAINE, Ataxophragmiidae, *Cayeuxia* sp., *Campbelliella striata* (CAROZZI), *Thaumatoporella parvovesiculifera* (RAINERI), *Bacinella* sp., *Siphovalvulina* sp., alghe verdi, nerineidi, textularidi, miliolidi, ostracodi, frammenti indeterminabili di molluschi, di gasteropodi di grosse dimensioni e di foraminiferi bentonici.

Macroscopicamente, la facies intermedia si presenta come un calcare micritico dal bianco al nocciola al rosa pallido con, a luoghi, bioclasti sparsi o livelli macrofossiliferi e/o strutture da essiccamento tipo *fenestrae*. Il passaggio con la litofacies successiva avviene generalmente in modo graduale.

Tutte le caratteristiche finora elencate permettono di attribuire le facies intermedie dei cicli di sedimentazione ad un ambiente variabile dalla laguna ristretta alla laguna poco profonda.

Litofacies 3) *mudstone* con strutture stilolitiche, fratture riempite da calcite spatica, strutture di essiccazione tipo *fenestrae*; *mudstone* con peloidi concentrati in livelli e *fenestrae*, *mudstone-wackestone* con *fenestrae*, *wackestone-packstone* a ooliti, alcune con nuclei costituiti da resti organici quali gusci di molluschi e Dasycladaceae. Il contenuto fossilifero è in genere meno abbondante che nelle litofacies precedenti: esso è costituito da frammenti di *Thaumatoporella*

*parvovesiculifera* (RAINERI), di *Valvulina lugeoni* SEPTFONTAINE, di *Campbelliella striata* (CAROZZI), di molluschi indeterminabili, di alghe verdi, da ostracodi con carapace sottile e foraminiferi bentonici indeterminabili.

Macroscopicamente, la facies superiore si presenta come un calcare micritico dal bianco al nocciola al rosa con strutture da essiccamento tipo *fenestrae* e *mud crack* e/o bioturbazioni verticali al limite superiore dei cicli.

Tutte le caratteristiche finora elencate permettono di attribuire le facies superiori dei cicli di sedimentazione ad un ambiente variabile dalla laguna ristretta all'intertidale/sopratidale.

All'interno della successione calcarea, sono presenti rari livelli di argille verdastre con spessori di pochi centimetri, che poggiano su una superficie erosiva sui calcari sottostanti. La parte basale di tali livelli argillosi è caratterizzata dalla presenza di numerosi intraclasti di calcare micritico. Per quanto riguarda l'interpretazione paleoambientale, queste argille sono attribuibili a periodi di esposizione subaerea della piattaforma (D'ARGENIO *et alii*, 1997).

Inoltre, tutta la successione presenta numerose stiloliti, soprattutto a contatto tra livelli a diversa granulometria; le stiloliti passano a volte lateralmente a vere e proprie superfici di strato che però non sembrano avere un significato sedimentologico, ma sono piuttosto il risultato di erosione preferenziale lungo le stiloliti stesse.

Dal punto di vista bio e cronostratigrafico le informazioni disponibili per il Calcare di Bari derivano dalla presenza, riscontrata un pò in tutto lo spessore affiorante in Cava de Bellis, di *Campbelliella striata* (CAROZZI), *Clypeina jurassica* FARVRE e *Valvulina lugeoni* SEPTFONTAINE. Queste tre specie rappresentano un ottimo indicatore bio-cronostratigrafico in quanto indicano l'intervallo Kimmeridgiano *p.p.*-Titoniano del Giurassico superiore (DE CASTRO, 1987; CHIOCCHINI *et alii*, 1994; LUPERTO SINNI & MASSE, 1994).

I più recenti dati di letteratura riguardanti i calcari affioranti nella parte meridionale del Gargano riguardano il Foglio 396 "San Severo" (MORETTI *et alii*, 2011). In questo Foglio, gli autori hanno suddiviso il Calcare di Bari in tre membri che, dal più antico al più recente sono:

- membro di Monte Calvo (CBA<sub>1</sub>; Calloviano *p.p.*-Valanginiano *p.p.* sulla base dei lavori di LUPERTO SINNI & MASSE, 1994 e MORSILLI, 1998);
- membro di Borgo Celano (CBA<sub>2</sub>; Valanginiano *p.p.*-Aptiano *p.p.* sulla base dei lavori di LUPERTO SINNI & MASSE, 1986 e CLAPS *et alii*, 1996);
- membro ad Ostree e Requenie (CBA<sub>3</sub>; Aptiano inferiore *p.p.*) sulla base dei lavori di LUPERTO SINNI & MASSE, 1986 e CLAPS *et alii*, 1996).

Da un confronto fra le facies del Calcare di Bari affioranti nei due fogli, si osserva che quelle relative al Foglio 409 "Zapponeta" sono simili per molti aspetti alle facies descritte nella parte alta del Membro di Monte Calvo e inferiore del membro di Borgo Celano. In particolare, alcuni elementi di similitudine sono:



- l'organizzazione ciclica dei calcari che, secondo gli Autori, si riscontra all'interno di ogni singolo strato o banco;
- presenza di calcari bioclastico-oncoidali rosati, che costituiscono i termini intermedi di ogni ciclo sedimentario;
- la presenza di calcareniti oolitiche grigie; esse caratterizzano la litofacies 1 nel Foglio 409 "Zapponeta", mentre sono indicate come litofacies 2c nel Foglio 396 "San Severo" e presentano molti tratti in comune, tra cui la presenza di cemento vadoso a menisco fra le ooliti, la struttura fibroso-aggiata di queste ultime, la frequenza di ooliti che si accrescono attorno a frammenti di altre ooliti. Diversa è invece la loro collocazione all'interno dei cicli: nel Foglio 396 sono ritenute essere le facies terminali di ogni ciclo; nel Foglio 409 le stesse vengono collocate alla base di ogni ciclo;
- la presenza di livelli di argille verdi.

Noi attribuiamo il Calcarea di Bari del Foglio 409 "Zapponeta" alla parte alta del membro di Monte Calvo (CBA<sub>1</sub>), in accordo con i *marker* cronostratigrafici: il riferimento all'intervallo Kimmeridgiano *p.p.* - Titoniano escluderebbe l'attribuzione al Calcarea di Bari che, secondo DELFRATI *et alii* (2003) ha *range* stratigrafico interamente compreso nel Cretacico (Valanginiano *p.p.* - Cenomaniano terminale/Turoniano inferiore). Tuttavia, in queste note, l'attribuzione al Calcarea di Bari è usata nell'accezione di SPALLUTO (2004) e SPALLUTO *et alii* (2005).

### 3. - UNITÀ DELL'AVANFOSSA BRADANICA

Nell'area del Foglio 409 "Zapponeta", le unità della Fossa Bradanica sono rappresentate da depositi calcarenitici che aprono il ciclo sedimentario a cui seguono argille, presenti solo in perforazione, sormontate da depositi regressivi, che chiudono la successione di riempimento della Fossa Bradanica.

I depositi calcarenitici (Calcarenite di Gravina, GRA) affiorano, in contatto trasgressivo sui calcari mesozoici dell'avampaese apulo-garganico, sulle propaggini più meridionali del pedegargano.

I termini argillosi, che si rinvergono diffusamente in perforazione e non affiorano nell'area, sono riferibili all'unità delle argille subappennine (ASP).

I depositi regressivi sono stati raggruppati in una unità stratigrafica a limiti inconformi (CALDARA *et alii*, 2011), denominata sintema di Cerignola (RGL) e composta da due unità litostratigrafiche fra loro eteropiche: i conglomerati di Ortona (ODN) e le sabbie di Torre Quarto (STQ). Nel Foglio "Zapponeta", limitatamente al margine meridionale, affiora solo la litofacies sabbiosa.

### 3.1. - CALCARENITE DI GRAVINA (GRA)

Questa unità, validata da AZZAROLI (1968), affiora in corrispondenza delle propaggini meridionali del rilievo del Gargano ed è riportata nella precedente edizione della Carta Geologica d'Italia con la dicitura di “calcarei sabbiosi, teneri, giallastri, stratificati, fossiliferi, (“tufo calcareo” = “pietra leccese”, sigla: Mc<sup>4-3</sup>, età: Miocene prob. medio), mentre nelle Note illustrative è indicata con il nome di “calcarei a Briozoi” (sigla: Mc<sup>2</sup>). Nella revisione dei depositi neogenici del Gargano, per quanto riguarda i depositi ricadenti nel Foglio 409 “Zapponeta”, D'ALESSANDRO *et alii* (1979) modificano la precedente attribuzione, datandoli al Pliocene inferiore e medio sulla base delle malacofaune. Inoltre, sono state interpretate analoghe alla murgiana Calcarenite di Gravina, da qui l'uso di questo nome nel Foglio 396 “San Severo”.

Alla base, questa unità si presenta in contatto trasgressivo sui calcari mesozoici dell'avampaese apulo-garganico, mentre il limite superiore coincide con la superficie topografica o consiste in una superficie di discordanza, mai affiorante nell'area del Foglio, che separa l'unità dalle argille subappennine (ASP), dal sintema di Masseria Finamondo (TPF), dai depositi alluvionali recenti (b<sub>p</sub>), dai depositi di versante (a) e dalla coltre eluvio-colluviale (b<sub>2</sub>). Lo spessore massimo di norma è intorno ai 30 m. Solo in un caso una perforazione presente nell'Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo dell'ISPRA (cod. 204094) presso Masseria Torre Tufara riporta uno spessore di ben 99 m.

Nella calcarenite di Gravina sono state riconosciute 3 litofacies che, dal basso verso l'alto, sono:

1) breccia a clasti calcarei da centimetrici e decimetrici, generalmente spigolosi o mal arrotondati, in matrice calcarenitica giallina: questa facies è la parte basale trasgressiva sui calcari di piattaforma del Mesozoico; affiora nei dintorni di Masseria Tuori;

2) calcareniti bianche da moderatamente a ben cementate, spesso ricche di bioclasti (soprattutto frammenti di bivalvi) e/o calcari micritici di colore avana scuro, generati da fenomeni di ricristallizzazione della calcarenite. Questa facies affiora frequentemente nell'area fra Posta Angeloni e Masseria Tuori;

3) calcareniti massicce da bianco a giallino, mal cementate, con macrofossili (echini, bivalvi, briozoi, ecc.) dispersi nella massa o concentrati in lenti o letti (Fig. 10), di ambiente dall'infralitorale al circolitorale; questa facies, che raggiunge gli spessori affioranti maggiori (circa 20 m), affiora estesamente nelle cave presenti ai lati della S.S. 89 garganica, pressapoco al km 179, e nelle cave di Masseria Torre Tufara.

La macrofauna riconosciuta nelle cave di Santa Lucia è costituita da: *Terebratula ampulla* BROCCHI, *Megathyris detruncata* (GMELIN), *Isognomon maxillatus* (LAMARCK), *Chlamys multistriata* (POLI), *C. opercularis* (LINNEO), *C. seniensis* (LAMARCK), *C. flexuosa* (POLI), *C. latissima* (BROCCHI), *C. pespelis* (LINNEO), *Hinnites crispus* (BROCCHI), *Pecten jacobaeus* (LINNEO), *Podosmus striatus*



Fig. 10 - Livelli macrofossiliferi presenti nella calcarenite di Gravina in località Santa Lucia.

(BROCCHI), *Hytissa hyotis* (LINNEO), *Neopycnodonte navicularis* (BROCCHI), *Ostrea edulis lamellosa* BROCCHI e *Petalochonchus intortus* (LAMARCK).

La presenza di forme che compaiono nel Pliocene come *C. pespelis* e *C. flexuosa* e di specie calde che avrebbero caratterizzato l'area mediterranea fino al primo deterioramento climatico pliocenico intorno a 3 Ma (MONEGATTI & RAFFI, 2001), come le estinte *I. maxillatus* e *C. latissima* o *H. hyotis* (attualmente vivente nei mari tropicali), porta a collocare l'unità calcarenitica nella zona MPMU1 (*sensu* MONEGATTI & RAFFI, 2007), confrontabile con le biozone MPL1-5 *p.p.* (*sensu* RIO *et alii*, 1990), e quindi nell'intervallo Zancleano-Piacenziano *p.p.*. Differentemente, nel Foglio 396 "San Severo" la calcarenite di Gravina è stata attribuita al Piacenziano - Gelasiano (MORETTI *et alii*, 2011).

Vista l'attribuzione cronologica, come già illustrato nel paragrafo 2, i depositi calcarenitici qui descritti appartengono al I ciclo sedimentario di CALDARA & GISSI (1993) e CALDARA *et alii* (2006). Poiché, secondo la Guida italiana alla Classificazione e alla Terminologia Stratigrafica, una formazione può includere anche discontinuità deposizionali, a meno che non coincidano con significativi cambiamenti litologici (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2003b), attribuiamo, comunque, le calcareniti del Foglio 409 "Zapponeta" alla Calcarenite di Gravina.

### 3.2. - ARGILLE SUBAPPENINE (ASP)

Questa unità litostratigrafica è stata ritrovata esclusivamente in perforazione,

per tale motivo si è preferito conservare l'originario nome formazionale riportato in letteratura (AZZAROLI *et alii*, 1968a). L'unità delle argille subappennine corrisponde alle argille azzurre di CANTELLI (1960) e RICCHETTI (1967) e alle argille di Gravina di AZZAROLI *et alii* (1968b).

Le argille subappennine si ritrovano nel sottosuolo in quasi tutta l'area del Foglio "Zapponeta" come documentato dai numerosi pozzi realizzati negli ultimi decenni. In particolare le caratteristiche dell'unità sono state studiate in dettaglio grazie ad alcune perforazioni tarate (C1, D3, MM4, MM6, Mn12 e Pt8).

Nel Foglio "Zapponeta" il limite superiore è rappresentato da una superficie di discordanza che separa l'unità dal sintema di Cerignola (sabbie di Torre Quarto, STQ) e dalle unità del supersintema del Tavoliere di Puglia (TP): subsintema di Amendola (MLM1), sintema di Isola degli Olivi di Torelli (IOT), sintema di Foggia (TGF), sintema dei torrenti Carapelle e Cervaro (RPL) e sintema di Masseria Finamondo (TPF).

La parte stratigraficamente più bassa, raggiunta solo nel pozzo C1 fra -92 m (fondo pozzo) e -40 m s.l.m., è costituita da argille grigio azzurre localmente marnose, con fauna indicatrice di ambienti marini da epibatiale a circolitorale profondo. Infatti, il contenuto fossilifero dei campioni di questa parte del pozzo consiste in una associazione epibatiale caratterizzata da *Delectopecten abyssorum* (SARS), *Thyasira* sp. e *Triphora perversa* (LINNEO), a cui si aggiungono pteropodi quali: *Limacina inflata* (D'ORBIGNY), *Atlanta* cf. *peroni* LESUEUR, *Styliola subula* (QUOY & GAIMARD) e *Creseis acicula* RANG, questi ultimi concentrati in un livello attorno ai -62 m s.l.m. La fauna verso l'alto è caratterizzata da indicatori di instabilità sedimentaria riconducibili comunque al piano circolitorale quali: *Corbula gibba* (OLIVI), *Odostomia conoidea* (BROCCHI), *Nuculana pella* (LINNEO), *Ditrupa arietina* (LINNEO), *Fustiaria rubescens* (DESHAYES).

Nella parte stratigraficamente più alta, le argille subappennine mostrano una tendenza regressiva e passano ad argille o argille siltose prevalentemente grigie, grigio oliva o marroni, e/o a sabbie fini o arenarie fini grigiastre. Le associazioni fossilifere (riscontrate nei pozzi D3, MM6, Mn 12, Pt8 e nella parte alta del pozzo C1) sono ricche in specie, si ritrovano: *Tricolia pullus* (LINNEO), *Turritella tricarinata pliorecens* SCALIA, *Bittium reticulatum* (DA COSTA), *Cerithiopsis tubercularis* (MONTAGU), *Naticarius tigrinus* (DEFRANCE), *Lunatia macilenta* (PHILIPPI), *Amyclina semistriata* BROCCHI, *Odostomia conoidea* (BROCCHI), *Turbonilla* sp., *Dentalium* sp., *Nucula sulcata* BRONN, *Nuculana pella* (LINNEO), *Similipecten similis* (LASKEY), *Chlamys opercularis* (LINNEO), *C. varia* (LINNEO), *Anomia ephippium* LINNEO, *Pododesmus squama* (GMELIN), *Ostrea edulis* LINNEO, *Divaricella divaricata* (LINNEO), *Acanthocardia paucicostata* (SOWERBY), *Parvicardium scabrum* PHILIPPI, *Parvicardium* sp., *Tellina* sp., *Abra prismatica* (MONTAGU), *Abra* sp., *Venus multilamella* (LAMARCK), *Chamalea gallina* (LINNEO), *Dosinia lupina* (LINNEO), *Corbula gibba* (OLIVI) e *Ditrupa arietina*

(LINNEO). Il prevalere nelle facies più argillose di *Venus multilamella* (LAMARCK), *Turritella tricarinata pliorecens* SCALIA e *Amyclina semistriata* BROCCHI porta ad ipotizzare un ambiente del piano circalitorale confrontabile con le attuali biocenosi dei Fanghi Terrigeni Costieri (VTC *sensu* PÉRÈS, 1967) caratterizzato da instabilità sedimentaria (DI GERONIMO, 1984), come testimoniato da *Ditrupa arietina* (LINNEO), *Nuculana pella* (LINNEO) e *Corbula gibba* (OLIVI); mentre il passaggio a litologie più sabbiose con *Chamalea gallina* (LINNEO), *Chlamys opercularis* (LINNEO), *Acanthocardia paucicostata* (SOWERBY) e con numerosi gasteropodi erbivori indica una superficializzazione con ambienti del piano infralitorale confrontabili con le attuali biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate (SFBC *sensu* PÉRÈS, 1967).

In questa unità litostratigrafica le associazioni a nannofossili calcarei sono generalmente caratterizzate da un cattivo stato di conservazione ed un elevato rimaneggiamento di età cretacico-paleogenica che risulta più rilevante nelle porzioni stratigraficamente più alte. Le associazioni sono principalmente rappresentate da *Gephyrocapsa oceanica* KAMPTNER, *G. caribbeanica* BOUDREAUX & HAY, *Calcidiscus leptopus* (MURRAY & BLACKMAN), small *Gephyrocapsa* (*sensu* RIO *et alii*, 1990), *Helicosphaera carteri* (WALLICH), *Rhabdosphaera claviger* MURRAY & BLACKMAN, *Syracosphaera histrica* KAMPTNER. Sono inoltre presenti alcuni individui di *Pseudoemiliania lacunosa* (KAMPTNER), che per la loro rarità, potrebbero indicare un intervallo prossimo o di poco successivo all'estinzione della specie. Questo evento individua la base della biozona MNN20 di RIO *et alii* (1990) del Pleistocene medio ed ha un'età di 0,467 Ma (RAFFI *et alii*, 2006). In tutti i campioni esaminati risulta invece assente *Gephyrocapsa omega* BUKRY indicando un intervallo successivo all'estinzione della specie; questo evento ricade nella parte alta della biozona MNN19f di RIO *et alii* (1990) ed ha un'età di 0,58/0,57 Ma (SPROVIERI *et alii*, 1998; MAIORANO & MARINO, 2004).

In definitiva, la presenza di *Gephyrocapsa oceanica* KAMPTNER indica un'età non più antica del Calabriano; tuttavia, la concomitante rarità di *P. lacunosa* e l'assenza di *G. omega* sembrano indicare con più precisione un intervallo biozonale compreso tra la parte sommitale della biozona MNN19f e la biozona MNN20 del Pleistocene medio. Le associazioni a foraminiferi sono ricche e ben diversificate nella parte stratigraficamente più bassa dell'unità (parte inferiore del pozzo C1) dove sono rappresentate da abbondanti foraminiferi planctonici come *Globigerina bulloides* D'ORBIGNY, *G. calabra* COLALONGO & SARTONI *Globorotalia inflata* (D'ORBIGNY), *Orbulina universa* D'ORBIGNY, *Globigerinoides ruber* (D'ORBIGNY), *G. elongatus* D'ORBIGNY e foraminiferi bentonici quali *Bulimina marginata* D'ORBIGNY, *Gyroidina soldani* (D'ORBIGNY), *Bigenerina nodosaria* D'ORBIGNY, *Uvigerina* spp. Nelle porzioni stratigraficamente più alte (pozzi MM6, D3, D4, VZ234 e parte alta del pozzo C1) le associazioni divengono molto meno ricche e diversificate e spesso rappresentate da un più rilevante contenuto in foraminiferi bentonici. Le associazioni



sono infatti caratterizzate prevalentemente da *Ammonia beccarii* (LINNEO), *Elphidium crispum* (LINNEO), *Brizalina alata* (SEGUENZA), *Fursenkoina tenuis* (SEGUENZA), *Quinqueloculina* spp., *Textularia* spp. e rari foraminiferi planctonici. Nei pozzi PZ2 e VZ228 il contenuto in foraminiferi è ulteriormente impoverito o addirittura assente.

Le datazioni ottenute con il metodo della racemizzazione degli amminoacidi si riferiscono a campioni dalla parte alta dell'unità ASP, intercettata in perforazione nel pozzo D3, collocato sull'alto di Amendola, e nel pozzo L8, poco a sud del limite meridionale del Foglio 409, in località Tressanti. Esse hanno restituito rispettivamente le età di  $508 \pm 102$  e  $455 \pm 57$  ka BP (DE SANTIS *et alii*, 2010; 2013), permettendo di attribuire la parte superiore delle argille subappennine al Pleistocene medio. Altre considerazioni di carattere regionale fanno ritenere che la locale sedimentazione della parte alta di questa unità sia più precisamente compresa fra il *Marine Isotopic Stage* (MIS) 15 e il MIS 13, e che il glaciale MIS 12 abbia causato una generale emersione dell'area e la fine della sedimentazione di questa unità (DE SANTIS *et alii*, 2010; 2013).

### 3.3. - SINTEMA DI CERIGNOLA (RGL)

Questa unità stratigrafica a limiti inconformi affiora marginalmente nel Foglio "Zapponeta" e diffusamente nel limitrofo Foglio "Cerignola" ove è stata riconosciuta per la prima volta (CALDARA *et alii*, 2011) e distinta in due unità litostratigrafiche fra loro eteropiche, denominate rispettivamente conglomerati di Ortona (ODN) e sabbie di Torre Quarto (STQ). Questi depositi erano precedentemente conosciuti in letteratura con il termine informale di "sabbie giallastre con fauna litorale" nel Foglio 164 "Foggia" (MERLA *et alii*, 1969) o Depositi Marini Terrazzati nella Carta Geologica dell'Italia Meridionale (BONARDI *et alii*, 1988). Nel Foglio "Zapponeta" affiora soltanto il termine distale del sintema di Cerignola, quindi le sabbie di Torre Quarto (STQ).

Il limite inferiore del sintema non affiora; in perforazione esso è rappresentato da una superficie erosiva che segna il passaggio tra questa unità e le argille subappennine (ASP).

Il limite superiore del sintema di Cerignola corrisponde ad una superficie di discordanza di importanza regionale che lo pone a contatto con unità appartenenti al supersintema del Tavoliere di Puglia (TP), in particolare con il subsintema dell'Incoronata (RPL<sub>1</sub>) e il sintema di Isola degli Olivi di Torelli (IOT).

Per la diffusa presenza di minerali caratteristici del vulcanismo del Vulture l'età del sintema di Cerignola è stata riferita al Pleistocene medio (CALDARA *et alii*, 2011).

### 3.3.1. - Sabbie di Torre Quarto (STQ)

Si tratta prevalentemente di sabbie medie e fini di colore giallastro, in genere poco cementate, in strati di spessore variabile da pochi centimetri fino a 50 cm, con intercalazioni arenitiche, marnose e argilloso-siltose; raramente sono presenti orizzonti costituiti da ciottoli di piccole dimensioni in abbondante matrice sabbiosa. Le sabbie sono laminate, con intervalli a laminazione piano-parallela ed intervalli con *set* di lamine a stratificazione incrociata con *ripple* asimmetrici da correnti trattive. Nelle sabbie sono diffusi i fenomeni di bioturbazione.

Nella parte alta della successione, localmente si rinvergono sabbie rossastre grossolane con laminazione incrociata concava a festoni, la cui stratificazione spesso è marcata da sottili livelli di paleosuolo.

La base di questa unità litostratigrafica è una superficie di discordanza sulle argille subappennine (ASP); il tetto è costituito anch'esso da una superficie di discordanza che coincide con la base del subsistema dell'Incoronata (RPL<sub>1</sub>) o del sistema di Isola degli Olivi di Torelli (IOT). Lo spessore complessivo del deposito è di circa 30 metri (perforazione L10). La macrofauna è mal conservata, si riconoscono solo resti frammentari di pettinidi.

Le datazioni ottenute con il metodo della racemizzazione degli amminoacidi su campioni provenienti dall'unità STQ si riferiscono al pozzo L8, situato poco a sud del limite meridionale del Foglio, in località Tressanti. Esse hanno restituito, per questa unità, un'età compresa tra 411±85 e 360±41 ka BP, permettendo di attribuirle al Pleistocene medio. Altre considerazioni di carattere regionale fanno ritenere che la locale sedimentazione di questa unità sia più precisamente attribuibile al MIS 11 (DE SANTIS *et alii*, 2013).

## 4. - SUPERSINTEMA DEL TAVOLIERE DI PUGLIA (TP)

Il supersintema del Tavoliere di Puglia (TP) comprende i depositi alluvionali riferibili a tutti i corsi d'acqua che solcano il Tavoliere compresi fra il Fiume Fortore e il Fiume Ofanto. Esso è costituito prevalentemente da depositi continentali terrazzati (DE SANTIS *et alii*, 2014) di modesto spessore e poggia in discordanza angolare sulle argille subappennine nei settori occidentali del Tavoliere di Puglia, mentre nelle aree orientali appare in paraconcordanza sulle stesse argille (ASP). Localmente, tra i depositi continentali terrazzati e le sottostanti argille subappennine sono stati riconosciuti depositi marini di spiaggia (CIARANFI *et alii*, 2011; DE SANTIS *et alii*, 2014).

Nell'area del Foglio 409 "Zapponeta" è stata attribuita al supersintema un'età compresa tra il Pleistocene medio e l'Olocene.

Le unità ad esso riferibili occupano la maggior parte dell'area del Foglio; queste, dalla più antica alla più recente, sono: le sabbie di Coppa Nevigata (NEA),



Fig. 11 - *Contatto trasgressivo delle sabbie di Coppa Nevigata sul basamento mesozoico.*

il sistema di Masseria Coppa Nevigata (NVI), il sistema di Masseria La Motticella (MLM), il sistema di Isola degli Olivi di Torelli (IOT, non affiorante), il sistema di Foggia (TGF), il sistema di Masseria Finamondo (TPF), il sistema dei torrenti Carapelle e Cervaro (RPL), il sistema di Masseria Inacquata (NAQ).

#### 4.1. - SABBIE DI COPPA NEVIGATA (NEA)

Questa unità, non riportata nella Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, affiora nei pressi dell'omonima Masseria di Coppa Nevigata. Essa è trasgressiva direttamente sul basamento calcareo mesozoico (CBA; Fig. 11), che si presenta intensamente perforato da litodomi. Il limite superiore coincide con la superficie topografica oppure consiste in una superficie di discordanza che la mette in contatto con il sistema di Masseria Coppa Nevigata (NVI). Lo spessore massimo dell'unità è di circa 1 m.

E' costituita da sabbie marine medio-fini di colore grigio-avana ricche di microfauna con alla base ciottoli prevalentemente carbonatici e subordinatamente silicoclastici di dimensioni centimetriche; le sabbie passano verso l'alto a sabbie silteose e silt argillosi poveri di fauna o sterili.

Il contenuto faunistico consiste in: *Chlamys opercularis* (LINNEO), *Ostrea* sp., *Anomia* sp., *Mytilaster* sp., Limidae, Pholadidae, abbondanti briozoi ramificati, frammenti di balani, resti di echini irregolari e regolari, foraminiferi tra cui *Elphidium* sp., *Ammonia* sp., *Uvigerina* sp., *Planulina* sp., *Nonion* sp., *Dimorphina* sp., *Bulimina* sp., *Globigerina* sp., *Orbulina* sp., rari ostracodi della specie *Cyprideis torosa* (JONES). Nella parte alta, siltoso-argillosa, sono presenti solo rari



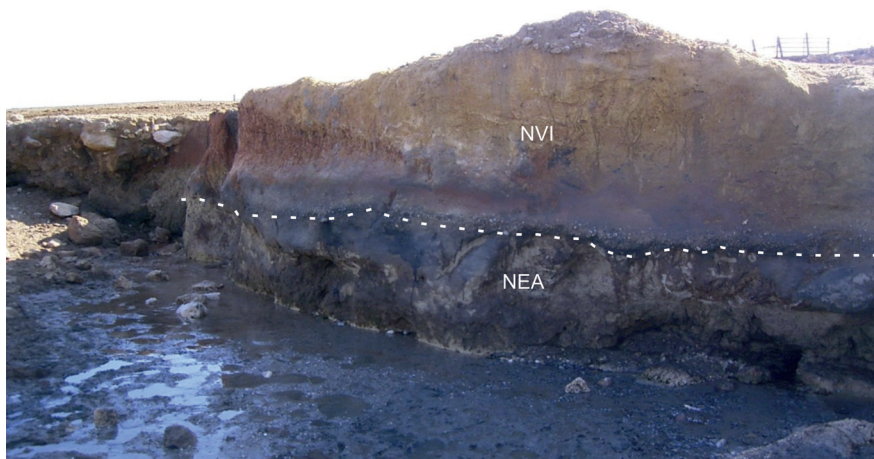


Fig. 12 - Contatto erosivo dei depositi del sistema di Masseria Coppa Navigata (NVI) su quelli delle sabbie di Coppa Navigata (NEA).

*Cyprideis torosa* (JONES). L'ambiente di sedimentazione è marino infralitorale, con probabile passaggio verso l'alto al continentale.

Le datazioni ottenute con il metodo della racemizzazione degli amminoacidi su campioni di ostracodi provenienti da questa unità, hanno restituito un'età di  $643 \pm 111$  ka BP, permettendo di attribuirle al Pleistocene medio. Le datazioni, unite ad altre considerazioni di carattere regionale e di evoluzione paleoambientale, fanno ritenere che la sedimentazione di questa unità sia riferibile all'intervallo compreso tra il MIS 17 ed il MIS 16 (DE SANTIS *et alii*, 2010; 2013).

#### 4.2. - SITEMA DI MASSERIA COPPA NEVIGATA (NVI)

Anche questa unità, non riportata nella precedente edizione della Carta Geologica d'Italia, affiora esclusivamente nei pressi dell'omonima Masseria di Coppa Navigata. Essa si presenta in contatto erosivo ora direttamente sui calcari del basamento mesozoico (CBA), ora sulle sabbie di Coppa Navigata (NEA, Fig. 12); il limite superiore invece coincide con la superficie topografica. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 4 metri.

E' costituita alla base da sabbie di colore fulvo o giallo ocra con dispersi rari ciottoli poligenici di dimensioni centimetriche. Verso l'alto si passa a silt sabbiosi o argillosi e argille di colore giallo ocra chiaro alternati a livelli di calcari marnosi o marne giallastre contenenti "nidi" di modelli di *Abra* sp. e *Cerastoderma* sp. o stromatoliti colonnari (Fig. 13); i livelli sciolti hanno una ricca ostracofauna



Fig. 13 - *Stromatoliti nella parte alta dell'unità NVI.*

costituita soprattutto da *Cyprideis torosa* (JONES). La parte alta dell'unità è costituita da calcari marnosi e marne di colore dal giallo ocre al fulvo, ricchissimi di modelli di *Abra* sp. e *Cerastoderma* sp. (Fig. 14).

L'ambiente di sedimentazione, dapprima continentale con facies di piana alluvionale, passa verso l'alto al lagunare a diverso confinamento. La presenza, nella parte alta, di stromatoliti colonnari, indica un ambiente di laguna intertidale tropicale (DE SANTIS *et alii*, 2010, 2013, 2014b).

Le datazioni ottenute con il metodo della racemizzazione degli amminoacidi su ostracodi, hanno indicato valori compresi fra  $447 \pm 60$  ka BP e  $366 \pm 91$  ka BP, quindi l'unità può essere riferita al Pleistocene medio. Le datazioni, unite a considerazioni stratigrafiche e di evoluzione paleoambientale, indicano che la base dell'unità NVI si è accumulata durante il MIS 12 in un ambiente continentale, mentre la parte medio alta si è deposta nel MIS 11, in un contesto di risalita del livello del mare. La presenza di stromatoliti nella parte medio-alta dell'unità suggerisce che essa risale proprio al picco massimo di temperatura e livello del mare che caratterizzarono il MIS 11 (DE SANTIS *et alii*, 2010, 2013, 2014b).

#### 4.3. - SINTEMA DI MASSERIA LA MOTTICELLA (MLM)

I depositi riferibili a questo sintema, estesamente affioranti nei limitrofi fogli 408 "Foggia" e 396 "San Severo" (CIARANFI *et alii*, 2011; MORETTI *et alii*, 2011), nel Foglio 409 "Zapponeta" affiorano esclusivamente sull'alto morfologico di Amendola, dove sono rappresentati dal subsintema di Amendola (MLM<sub>1</sub>).

Il sintema di Masseria La Motticella è attribuibile al Pleistocene medio.

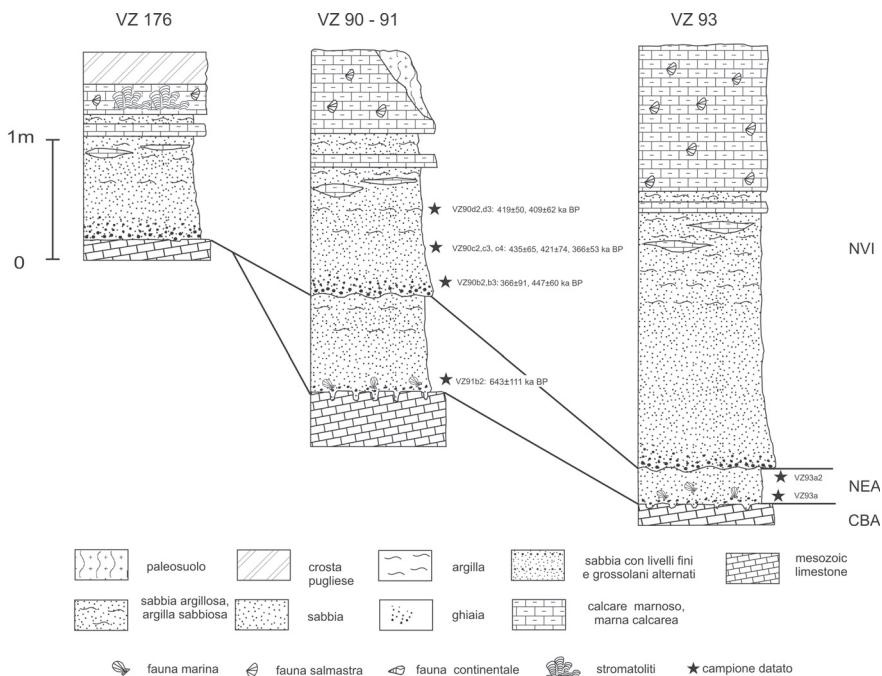


Fig. 14 - Colonne stratigrafiche realizzate a Coppa Nevigata.

#### 4.3.1. - *Subsistema di Amendola (MLM<sub>1</sub>)*

Questa unità, che affiora sull'omonimo alto morfologico di Amendola, è riportata nella Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 con la dicitura di "sabbie giallastre con fauna litorale" (sigla: Qm<sub>2</sub>; Età: Pleistocene; MERLA *et alii*, 1969); e, successivamente è stata descritta da CIARANFI (1983) con il nome di "Sabbie di Amendola".

La base del subsistema di Amendola è costituita da una superficie di discordanza sui calcari del Mesozoico (CBA<sub>1</sub>), limitatamente all'area pedegarganica, o, in perforazione sulle argille subappennine (ASP). Il limite superiore coincide con la superficie topografica o è rappresentato da una superficie di discordanza che mette in contatto questa unità con il sistema di Foggia (TGF), il subsistema dell'Incoronata (RPL<sub>1</sub>), il sistema di Masseria Finamondo (TPF), i depositi di versante (a), il sistema di Masseria Inacquata (NAQ) e i depositi antropici (h). In perforazione il subsistema di Amendola è sormontato anche dal sistema di Isola degli Olivi di Torelli (IOT).

Si tratta di sabbie dal tipico colore fulvo-arancio o giallo ocra in cui si

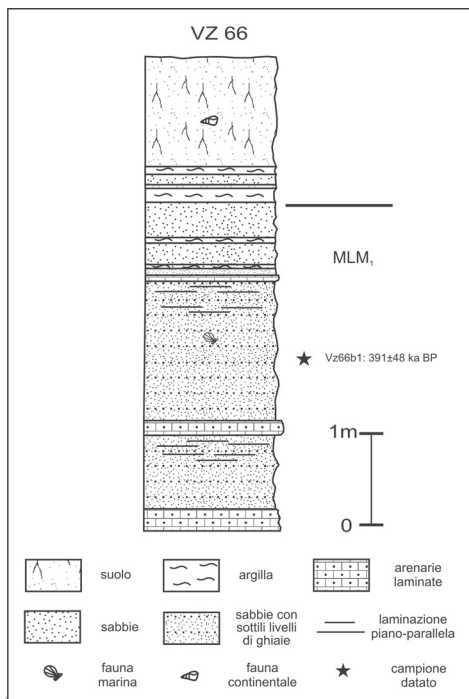


Fig. 15 - Colonna stratigrafica del subsistema di Amendola realizzata nella trincea ferroviaria in località Posta Piana.

rinvengono livelli di sabbia fine o silt o argilla giallo ocra e, a volte, livelli di arenaria grossolana (Fig. 15). La giacitura, messa in evidenza dai livelli a diversa granulometria e dagli strati di arenaria intercalati nelle sabbie, è sub-orizzontale.

Negli scarsi affioramenti disponibili (esclusivamente trincee artificiali) è costante la presenza di una parte superiore fine, costituita quasi sempre da silt argilloso o argille di colore dal fulvo giallastro al marrone, ricche di noduli bianchi calcarei dovuti a precipitazione evaporitica (Fig. 16).

Gli spessori, desumibili dai dati di perforazione, sono di norma compresi fra 25 e 30 metri; il valore massimo, di 55 metri, è raggiunto nella parte settentrionale del Foglio.

Il contenuto faunistico del subsistema di Amendola consiste in: *Chlamys opercularis* (LINNEO), *C. varia* (LINNEO), *Lentidium mediterraneum* (COSTA), *Donax* sp. e

carapaci di ostracodi: *Cyprideis torosa* (JONES) e *Heterocythereis* sp..

L'ambiente di sedimentazione è marino infralitorale, più specificatamente di spiaggia sommersa; localmente, in perforazione (pozzo MM4), si trovano facies di transizione con associazione fossilifera riconducibile alle biocenosi attuali delle lagune eurialine ed euriterme, contenenti specie quali: *Cerastoderma glaucum* (BRUGUIERE), *Abra segmentum* (RECLUZ), Hydrobiidae, *Bittium reticulatum* (DA COSTA).

La parte superiore, più fine, ha un contenuto macrofaunistico costituito esclusivamente da frammenti di gasteropodi continentali indeterminabili.

Il contenuto micropaleontologico di questa unità, proveniente dalla successione VZ66 e dai pozzi VZ228 e MM4, è risultato non indicativo per attribuzioni biostratigrafiche. Il contenuto in nannofossili calcarei è infatti molto scarso e rappresentato da rari individui di *Coccolithus pelagicus* (Wallich), *Helicosphaera carteri* (Wallich), *Reticulofenestra* spp., small *Gephyrocapsa* (*sensu* RIO *et alii*, 1990), *Pseudoemiliania lacunosa* (Kamptner), oltre che da individui rimaneggiati. Il





Fig. 16 - Parte alta del subsistema di Amendola (MLM<sub>1</sub>) costituita da silt argillosi o argille di colore fulvo ricche di noduli bianchi calcarei nei pressi di Masseria Frattarolo, località Posta Innanzi.

contenuto in foraminiferi è spesso assente o rappresentato da rari individui di *Ammonia beccarii* (Linneo) e rari foraminiferi planctonici in cattivo stato di conservazione.

Questa unità, nel limitrofo Foglio 408 “Foggia” (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 2011d), è riferita sulla base di considerazioni stratigrafiche al Pleistocene medio - superiore? (CIARANFI *et alii*, 2011). Le datazioni ottenute con il metodo della racemizzazione degli amminoacidi si riferiscono a campioni provenienti dal pozzo VZ238, situato lungo la costa in località Isola degli Olivi di Torelli, e dalla sezione VZ66, situata sull’alto di Amendola, presso Masseria Tomaiolo. Le datazioni fornite sono rispettivamente di  $401 \pm 79$  e  $391 \pm 48$  ka BP e permettono un’attribuzione al Pleistocene medio. La datazione, riferita alla parte medio-alta dell’unità, fa ipotizzare che la deposizione sia avvenuta durante la risalita del livello del mare collegata al MIS 11 e/o durante lo stazionamento alto del MIS 11 (DE SANTIS *et alii*, 2010; 2013).

Il sistema di Masseria Coppa Nevigata (NVI), il subsistema di Amendola (MLM<sub>1</sub>) e le Sabbie di Torre Quarto sarebbero, quindi, in parte coevi. Tuttavia, la separazione fra le aree di affioramento delle tre unità, gli ambienti deposizionali diversi, le litologie differenti, hanno suggerito di mantenere comunque distinte queste tre unità. Ciò è in accordo anche con il fatto che l’interglaciale 11 è stato eccezionalmente lungo (423-360 ka) e in molte aree sono stati riconosciuti due terrazzi marini corrispondenti a diversi alti livelli del mare associati a questo *stage* (ZAZO 1999; SCHELLMANN & RADTKE, 2004). Il MIS 11 quindi, appare come un periodo di generalizzata trasgressione, che riattiva la sedimentazione marina dopo l’interruzione dovuta allo stazionamento basso del MIS 12, che aveva causato la

fine della sedimentazione delle argille subappennine (DE SANTIS *et alii*, 2013). La successiva fase di stazionamento basso del glaciale MIS 10 provoca la fine della sedimentazione di queste tre unità (DE SANTIS *et alii*, 2013).

#### 4.4. - SINTEMA DI ISOLA DEGLI OLIVI DI TORELLI (IOT).

Questo sintema è ritrovato esclusivamente in perforazione (profili A-A', B-B' e D-D') in un'area collocabile tra la fascia costiera e l'immediato entroterra.

La base è costituita da una superficie di discordanza sulle argille subappennine (ASP) sul subsintema di Amendola (MLM<sub>1</sub>) e sulle sabbie di Torre Quarto (STQ); a tetto l'unità è limitata da una superficie di discordanza che coincide con la base del sintema di Foggia (TGF) e del subsintema dell'Incoronata (RPL<sub>1</sub>).

Lo spessore massimo è di circa 30 metri.

L'unità è costituita da argille compatte più o meno sabbiose da marroncino a grigio oliva a grigio-azzurre e da sabbie più o meno grossolane dal giallo scuro al marrone; i livelli sabbiosi e argillosi si presentano fittamente alternati; le litologie sopra descritte contengono ciottoli eterometrici sparsi di provenienza prevalentemente appenninica. Nel pozzo Pt8 si rinvencono, all'interno dell'unità: 1) nella parte bassa, un livello di pisoliti bauxitiche e di clasti di calcari a coralli di chiara provenienza garganica; 2) nella parte centrale, livelli di paleosuolo arricchiti in tritume conchigliare di gasteropodi terrestri; 3) nella parte alta, tracce di radici carbonizzate o evidenziate da tubicini di incrostazioni sabbiose.

La fauna è costituita da gasteropodi terrestri di difficile determinazione per lo stato frammentario (*Helix* sp. e *Limax* sp.) e da resti di organismi riconducibili ad ambienti di acque dolci più o meno persistenti, quali *Cyprideis torosa* (JONES), *Hemicyprideis* sp. e *Ilyocypris* sp. e resti di Characeae. Localmente, nella parte alta dell'unità (per esempio nel pozzo MM4) si passa ad un ambiente di transizione a salinità ridotta caratterizzato da faune lagunari quali *Cerastoderma glaucum* (BRUGUIERE), *Abra segmentum* (RECLUZ), Hydrobiidae ed ostracodi.

Le datazioni ottenute con il metodo della racemizzazione degli amminoacidi su ostracodi si riferiscono a campioni provenienti da 4 pozzi situati lungo la costa (da nord a sud: Pt8, VZ238, VZ1bis, Pt20) e dai pozzi VZ228 (sito presso Masseria Mariella, lungo il limite occidentale del Foglio) e MM6 (sito in località Beccarini). Esse hanno fornito età comprese fra 295±99 ka BP e 180±44 ka BP, quindi l'unità può essere riferita al Pleistocene medio. Le datazioni, unite a considerazioni stratigrafiche e di evoluzione paleoambientale, indicano che l'unità IOT si è sedimentata in un intervallo di tempo compreso tra il MIS 9.3 ed il MIS 7.1 (DE SANTIS *et alii*, 2013).

#### 4.5. - SINTEMA DI FOGGIA (TGF)

Questa unità affiora in alcuni lembi della parte più occidentale dell'area presa in esame e ne costituisce il terrazzo alluvionale più alto, separato da quello immediatamente inferiore (subsintema dell'Incoronata, RPL<sub>1</sub>) da una scarpata a debole pendenza e ad ampio sviluppo orizzontale. Nella Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 questa unità non era riportata, e rientrava nelle "alluvioni terrazzate recenti" (sigla: Qt<sup>3</sup>, Età: Olocene; MERLA *et alii*, 1969).

La base è costituita da una superficie di discordanza sul subsintema di Amendola (MLM<sub>1</sub>) e, dai dati di perforazione, anche sulle argille subappennine (ASP) o sul sintema di Isola degli Olivi di Torelli (IOT). Il tetto è rappresentato dalla superficie topografica o da una superficie erosiva che mette a contatto questa unità con il subsintema dell'Incoronata (RPL<sub>1</sub>) e, in perforazione, anche con il sintema di Masseria Finamondo (TPF).

Lo spessore massimo è di circa 25 m.

L'unità è visibile esclusivamente su pareti di cave, in particolare in località Posta Fossetta (Fig. 17), Masseria Mariella e Passo Breccioso. Essa è costituita da ghiaie eterometriche di provenienza appenninica, con ciottoli da subarrotondati a subappiattiti, immersi in matrice siltoso-argillosa grigio-marrone; sono presenti letti e lenti di sabbie grigio-marrone, a volte laminate e/o gradate e passanti verso l'alto a termini siltosi e/o argillosi; all'interno delle ghiaie ci sono evidenti superfici erosive per lo più concave. Verso est, il sintema di Foggia, riscontrabile solo in perforazione (Pozzi E195, E196, E197, MM6 e Pt8), presenta anche ciottoli calcarei di provenienza garganica e un maggior spessore di lenti o letti argillosi o siltosi.



Fig. 17 - Depositi di piana alluvionale tipo braided, ascrivibili all'unità TGF, affioranti in località Posta Fossetta.

Il contenuto faunistico consiste in frammenti di gasteropodi terrestri indeterminabili, fra cui Hygromiidae ed *Helix* sp., e specie che indicano presenza di specchi di acque dolci, quali i bivalvi: *Pisidium amnicum* (MÜLLER), *Unio* sp. e ostracodi, tra cui *Cyprideis torosa* (JONES).

L'ambiente di sedimentazione è quello di piana alluvionale tipo *braided*.

Questa unità, nel limitrofo Foglio 408 “Foggia” (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 2011d), è riferita sulla base di considerazioni stratigrafiche al Pleistocene medio?-superiore (CIARANFI *et alii*, 2011). Le datazioni ottenute con il metodo della racemizzazione degli amminoacidi su ostracodi si riferiscono a due campioni provenienti dai pozzi Mn13, sito in località Conga Agnelli, e Pt8, sito lungo la costa in località Isola degli Olivi di Torelli. Il campione del pozzo Mn13 ha fornito un’età di 161±16 ka BP; quello del pozzo Pt8 ha fornito un’età 146±52 ka BP, permettendo quindi di attribuire il sintema di Foggia al passaggio Pleistocene medio-Pleistocene superiore. La datazione, unita a considerazioni stratigrafiche e di evoluzione paleoambientale, indica che questi depositi si sono formati durante la fase di abbassamento e di stazionamento basso del mare risalente al MIS 6 (glaciale Riss; DE SANTIS *et alii*, 2010; 2013).

#### 4.6. SINTEMA DI MASSERIA FINAMONDO (TPF)

Il sintema di Masseria Finamondo, comprende depositi alluvionali terrazzati affioranti, nell’area del Foglio 409 “Zapponeta”, prevalentemente in sinistra orografica del torrente Candelaro. Nella precedente edizione della Carta Geologica d’Italia questa unità non era stata distinta, e rientrava nelle “*alluvioni terrazzate recenti*” (sigla: Qt<sup>3</sup>, Età: Olocene; MERLA *et alii*, 1969).

Il limite inferiore è costituito da una superficie di discordanza che mette l’unità in contatto con il subsintema di Amendola (MLM<sub>1</sub>) o con il sintema di Foggia (TGF); quest’ultimo contatto è rilevabile solo in sondaggio.

Il limite superiore è costituito da una superficie di discordanza che mette a contatto l’unità con il sintema di Masseria Inacquata (NAQ), con i depositi di versante (a), con i depositi alluvionali recenti (b<sub>v</sub>); a luoghi coincide con la superficie topografica.

Lo spessore massimo è di circa 20 metri.

La caratterizzazione di questa unità si è rivelata complessa per la mancanza di sezioni stratigrafiche di riferimento. In affioramento, l’unità è costituita da sabbie fini fittamente alternate a peliti e/o da argille bruno scure.

L’ambiente di sedimentazione è di piana alluvionale a bassa energia, caratterizzata da deboli processi trattivi e di decantazione.

L’unità è stata riferita, nei limitrofi fogli 408 “Foggia” e 369 “San Severo”, al Pleistocene superiore su base stratigrafica (CIARANFI *et alii*, 2011; MORETTI *et alii*, 2011).



#### 4.7. - SINTEMA DEI TORRENTI CARAPELLE E CERVARO (**RPL**)

Questo sintema racchiude i depositi alluvionali dei torrenti Carapelle e Cervaro. Nella Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 questa unità non era riconosciuta e rientrava nelle "alluvioni terrazzate" del Torrente Carapelle. In particolare corrispondono alle "alluvioni terrazzate recenti" (Qt<sub>3</sub> dei fogli 175 "Cerignola" e 164 "Foggia") e alle "alluvioni recenti ed attuali" (Q del Foglio 164 "Foggia").

Il limite inferiore del sintema è costituito da una superficie di discordanza sulle sabbie di Torre Quarto (STQ), sul subsintema di Amendola (MLM<sub>1</sub>), sul sintema di Foggia (TGF) e, in perforazione, anche sul sintema di Isola degli Olivi di Torelli (IOT). Il limite superiore, invece, coincide con la superficie topografica, oppure è costituito da una superficie di discordanza che coincide con la base del sintema di Masseria Inacquata (NAQ), con la base dei depositi antropici (h) o con la base delle saline (h<sub>2</sub>).

Il sintema dei torrenti Carapelle e Cervaro è stato suddiviso in tre subsintemi (CALDARA *et alii*, 2011): il subsintema dell'Incoronata (RPL<sub>1</sub>), il subsintema di Masseria Torricelli (RPL<sub>2</sub>) ed il subsintema delle Marane La Pidocchiosa-Castello (RPL<sub>3</sub>); nell'area del Foglio 409 "Zapponeta", affiorano soltanto RPL<sub>1</sub> e RPL<sub>3</sub>.

L'unità è riferibile ad un intervallo di tempo compreso tra il Pleistocene superiore e l'Olocene.

##### 4.7.1. - *Subsintema dell'Incoronata (RPL<sub>1</sub>)*

Questa unità è la più estesa arealmente fra quelle affioranti nell'area studiata. E' costituita da depositi alluvionali dei torrenti Carapelle e Cervaro che passano, verso est, a depositi di mare poco profondo, rinvenuti solo in perforazione. La parte continentale, affiorante, di questa unità, forma il terrazzo alluvionale immediatamente superiore alla piana alluvionale attuale e recente (inclusa nel sintema di Masseria Inacquata, NAQ) da cui lo separa una scarpata bassa ma abbastanza ripida e continua. In aree limitate del Foglio invece, esiste un ulteriore deposito alluvionale terrazzato che si frappone tra RPL<sub>1</sub> e NAQ, che costituisce il subsintema delle Marane La Pidocchiosa-Castello (RPL<sub>3</sub>)

La base dell'unità RPL<sub>1</sub> è costituita da una superficie erosiva sulle sabbie di Torre Quarto (STQ), sul subsintema di Amendola (MLM<sub>1</sub>), sul sintema di Foggia (TGF), e in perforazione anche sul sintema di Isola degli Olivi di Torelli (IOT). Il limite superiore coincide con la superficie topografica o è costituito da una superficie di erosione che mette in contatto l'unità con il subsintema delle Marane La Pidocchiosa-Castello (RPL<sub>3</sub>), con il sintema di Masseria Inacquata (NAQ), con i depositi antropici (h) o con le saline (h<sub>2</sub>).

Lo spessore massimo dell'unità è di circa 35 metri.

Il subsintema dell'Incoronata è costituito da un ampio ventaglio di frazioni

granulometriche: dalle sabbie, ai silt, alle argille, con occasionali intercalazioni ghiaiose; le sabbie possono presentarsi di colore giallastro e, a volte, cementate fino a formare strati di arenaria; i silt, le argille, ma anche a volte le stesse sabbie, variano dall'avana, al marrone, al grigio chiaro. Caratteristica comune è però la laminazione da piano - parallela ad ondulata, che interessa le componenti sabbiose e siltose. Nelle aree più interne si rinvengono facies più prossimali costituite prevalentemente da ghiaie con intercalazioni di sabbie e silt (località Passo Breccioso). Il tetto dell'unità è costituito da un paleosuolo sormontato da un livello di crosta calcarea evaporitica, straterellata e friabile, spesso al massimo 50 cm; non sono infrequenti però i casi in cui manchi uno o l'altro o ambedue questi elementi di chiusura di RPL<sub>1</sub>.

L'ambiente di sedimentazione della parte continentale dell'unità RPL<sub>1</sub> è quello di una piana alluvionale-deltizia, con frequenti fenomeni di esondazione ed *overbank*. Il suo contenuto faunistico consiste in gasteropodi terrestri quali: *Cernuella virgata* (DA COSTA), *Helix* sp., *Cernuella* sp., organismi collegati ad ambienti di acque dolci quali: *Valvata* sp., *Bithynia tentaculata* (LINNEO), *Planorbis* sp., *Corbicula fluminalis* (MÜLLER) e ostracodi.

Come già detto, verso est questa unità passa a sedimenti di ambiente marino ed è costituita da sabbie giallastre, sabbie argillose o siltose, argille e silt da grigio plumbeo a grigio-azzurro. L'ambiente di sedimentazione va dal lagunare al marino poco profondo.

Il contenuto faunistico della parte marina dell'unità RPL<sub>1</sub>, il più abbondante fra tutti quelli individuati, è stato determinato sui campioni provenienti dai pozzi MM4 (Fig. 3), Pt20, VZ238, VZ1bis e Pt8. In particolare, correlando i dati di tutti i pozzi tarati risultano, partendo dal basso, i seguenti paleoambienti di sedimentazione:

a) laguna eurialina ed euriterma con *Cerastoderma glaucum* (BRUGUIERE), *Abra segmentum* (RECLUZ), *Bittium reticulatum* (DA COSTA), *Hydrobia stagnorum* (GMELIN), *Pirenella conica* (BLAINVILLE), *Cerithium vulgatum* BRUGUIERE, *Rissoa* sp.;

b) ambiente marino infralitorale caratterizzato da: *Spisula subtruncata* (DA COSTA), *Acanthocardia paucicostata* (SOWERBY), *Tellina distorta* POLI, *Corbula gibba* (OLIVI), *Tricolia pullus* (LINNEO), *Hinia reticulata nitida* (JEFFREYS);

c) ambiente continentale: paleosuolo arricchito di noduli carbonatici e frammenti di fauna marina;

d) ambiente marino infralitorale caratterizzato dalla presenza di una bioerma a *Cladocora caespitosa* (LINNEO), costituita da colonie poco ramificate e con rami molto allungati (vedi pozzo MM4); annessa è presente una ricca e ben conservata fauna marina: *Abra* sp., *Anomia patelliformis* (LINNEO), *Arca noae* (LINNEO), *A. tetragona* POLI, *Balanus* sp., *Bittium reticulatum* (DA COSTA), *Cerithiopsis tubercularis* (MONTAGU), *C. minima* (BRUSINA), *Cerithium vulgatum* (BRUGUIERE), *Chama gryphoides* (LINNEO), *Chlamys varia* (LINNEO), *C. flexuosa*

(POLI), *C. multistriata* POLI, *Chiton* sp., *Chrysallida excavata* (PHILIPPI), *Mangelia rugulosa* (PHILIPPI), *Clanculus corallinus* (GMELIN), *Corbula gibba* (OLIVI), *Divaricella divaricata* (LINNEO), *Ebala pointeli* (FOLIN), *Emarginula* sp., *Manzonina crassa* (KANMACHER), *Gastrochaena dubia* (PENNANT), *Hiatella rugosa* (LINNEO), *Homalopoma sanguineum* (LINNEO), *Megerlia truncata* (LINNEO), *Mysella bidentata* (MONTAGU), *Modiola barbata* (LINNEO), *Odostomia conoidea* (BROCCHI), *Ostrea edulis* (LINNEO), *O. stentina* (PAYRAUDEAU), *Parvicardium scabrum* (PHILIPPI), *Pitar rudis* (POLI), *Plagiocardium papillosum* (POLI), *Rissoa* sp., *Scissurella costata* (D'ORBIGNY), *Spisula subtruncata* (DA COSTA), *Tricolia pullus* (LINNEO), *Turbona geryonia* (CHIEREGHIN in NARDO), *Turbonilla rufa* (PHILIPPI), *Venerupis* sp., *Venus verrucosa* (LINNEO).

Le peculiarità di questa associazione, riscontrabile ad esempio nel pozzo MM4, fanno ipotizzare che la bioerma a *Cladocora* si sia sviluppata in acque costiere caratterizzate da apporti alluvionali di sedimenti fini, con alta torbidità e temperature più alte rispetto alle attuali (PEIRANO *et alii*, 2004);

e) ambiente marino infralitorale caratterizzato da alternanza di feltri algali con resti di organismi prevalentemente detritivori: *Corbula gibba* (OLIVI), *Nuculana pella* (LINNEO), *Tellina distorta* POLI, *Plagiocardium papillosum* (POLI), *Chlamys glabra* (LINNEO), *Mysella bidentata* (MONTAGU), *Abra prismatica* (MONTAGU), *Loripes lacteus* (LINNEO), *Tricolia* sp.;

f) ambienti lagunari caratterizzati da: *Cerastoderma glaucum* (BLAINVILLE), *Abra segmentum* (RECLUZ), *Pirenella conica* (BLAINVILLE) ed Hydrobiidae;

g) ambiente continentale: paleosuolo argilloso con noduli carbonatici e frammenti di fauna terrestre;

h) ambiente marino infralitorale caratterizzato da popolamenti eterogenei (PE *sensu* Picard, 1965), anche con specie indicatrici di instabilità sedimentaria: *Abra alba* (WOOD), *Arca tetragona* POLI, *Acanthocardia paucicostata* (SOWERBY), *Azorinus chamasolen* (DA COSTA), *Bittium reticulatum* (DA COSTA), *Caecum* sp., *Calyptrea chinensis* (LINNEO), *Chamelea gallina* (LINNEO), *Chlamys glabra* (LINNEO), *C. opercularis* (LINNEO), *Clausinella fasciata* (DA COSTA), *Corbula gibba* (OLIVI), *Dentalium* sp., *Diplodonta rotundata* (MONTAGU), *Divaricella divaricata* (LINNEO), *Dosina lupinus* (LINNEO), *Gouldia minima* (MONTAGU), *Hinia* sp., *Hiatella rugosa* (LINNEO), *Leiostraca subulata* (DONOVAN), *Loripes lacteus* (LINNEO), *Modiolus modiolus* (LINNEO), *Musculus* sp., *Mytilus* sp., *Nucula nucleus* (LINNEO), *Nuculana pella* (LINNEO), *Parvicardium minimum* (PHILIPPI), *P. roseum* (LAMARCK), *Petricola lajonkairii* (PAYRAUDEAU), *Phaxas pellucidus* (PENNANT), *Plagiocardium papillosum* (POLI), *Pitar rudis* (POLI), *Spisula subtruncata* (DA COSTA), *Striarca lactea* (LINNEO), *Tellina distorta* POLI, *T. pulchella* LAMARCK, *Tricolia pullus* (LINNEO), *Triphora perversa* (LINNEO), *Venerupis* sp..

Il contenuto micropaleontologico di questa unità è stato analizzato nei pozzi Pt20, VZ1bis, VZ238 ed MM4. I nanofossili calcarei sono generalmente poco

abbondanti e rappresentati principalmente da *Coccolithus pelagicus* (WALLICH), *Helicosphaera carteri* (WALLICH), *Reticulofenestra* spp., small *Gephyrocapsa* (*sensu* RIO *et alii*, 1990), *Gephyrocapsa oceanica* KAMPTNER, *Gephyrocapsa caribbeanica* BOUDREAUX & HAY. In alcuni campioni provenienti dai pozzi VZ238, VZ1bis e MM4 sono presenti rari individui di *Emiliania huxleyi* (LOHMANN) che indicano per questa unità un'età non più antica della parte alta del Pleistocene medio. La comparsa di *E. huxleyi*, infatti, individua la base della Zona MNN21a di RIO *et alii* (1990) ed ha nel Mediterraneo un'età di 0,265 Ma (RAFFI *et alii*, 2006): l'unità RPL<sub>1</sub> quindi, almeno sulla base del nannoplankton calcareo, è successiva a tale periodo. Nei campioni esaminati è sempre presente un elevato rimaneggiamento cretacico-paleogenico. Il contenuto in foraminiferi, se presente, è rappresentato principalmente da *Quinqueloculina* spp., *Ammonia beccarii* (LINNEO), *Elphidium crispum* (LINNEO).

Le datazioni ottenute con il metodo della racemizzazione degli amminoacidi su ostracodi si riferiscono anch'esse a campioni provenienti da numerosi pozzi situati lungo la fascia costiera (da nord a sud: MM4, Pt8, VZ238, VZ1bis, Pt20), dal pozzo VZ234, sito in località Palata, e dalla sezione VZ172, sita in località Faranone. Tali datazioni hanno indicato età comprese tra 134±56 ka BP e 16±4 ka BP. Inoltre due date C<sup>14</sup> (Tab. V) indicano età di 31.930±170 BP (pozzo DF1, sito in località De Feo) e di 19.370±80 BP (sezione VZ169d, sita in località Panetteria del Conte). Ne consegue che l'unità può essere riferita al Pleistocene superiore. Le datazioni, unite a considerazioni stratigrafiche e di evoluzione paleoambientale, indicano che il subsistema dell'Incoronata (RPL<sub>1</sub>) si è depositato durante l'intervallo MIS 5 - MIS 3, con un contributo preponderante durante il MIS 5; in questo schema interpretativo, il livello a *Cladocora caespitosa* è riferibile al MIS 5.5 (DE SANTIS *et alii*, 2010, 2013). L'abbassamento del livello del mare durante la glaciazione würmiana pose fine alla sedimentazione di questa unità.

L'ampio range di date di questa unità, l'individuazione, in diverse perforazioni, di superfici di discontinuità interne alla stessa, paleosuoli e bruschi cambiamenti di paleoambiente, fanno ipotizzare che essa possa essere ulteriormente suddivisa. Tuttavia, allo stato attuale delle conoscenze, non è possibile formalizzare tale suddivisione.

#### 4.7.2. - Subsistema delle Marane La Pidocchiosa - Castello (RPL<sub>1</sub>)

Questa unità è visibile esclusivamente su alcune pareti di piccoli scavi artificiali.

La base è costituita da una superficie di discordanza sul subsistema dell'Incoronata (RPL<sub>1</sub>); il limite superiore coincide con la superficie topografica o è costituito da una superficie di discordanza che mette in contatto l'unità con il sistema di Masseria Inacquata (NAQ), i depositi alluvionali attualmente in evoluzione (b<sub>a</sub>), e i depositi antropici (h).

Si tratta di depositi sabbioso-limoso-argillosi, generalmente laminati; la litofacies più comune è quella costituita da sabbie fini e silt grigiastri laminati, con laminazione da piano-parallela ad ondulata.

L'ambiente di sedimentazione è di piana alluvionale a bassa energia.

Indicazioni cronologiche relative al subsistema delle Marane La Pidocchiosa - Castello sono fornite da datazioni assolute e da tefrostratigrafia effettuate nel vicino Foglio "Cerignola". Entrambe forniscono un'età olocenica: 4.150±40 BP e 3.500-3.600 anni BP per la presenza delle pomice di Avellino, prodotti che caratterizzano una fase di attività del Vesuvio (CALDARA *et alii*, 2011).

#### 4.8. - SINTEMA DI MASSERIA INACQUATA (NAQ)

Sotto questo nome sono stati raggruppati tutti i sedimenti che costituiscono la piana alluvionale più bassa.

Nella Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 questa unità non era riconosciuta e rientrava nelle "alluvioni recenti ed attuali" (Q del Foglio 164 "Foggia") e nei "cordoni litorali e dune" (s, d del Foglio 164 "Foggia"). Questo sintema corrisponde all'unità b nell'adiacente Foglio 408 "Foggia" alla scala 1:50.000 (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2011d).

Il limite inferiore è costituito da una superficie di discordanza sul subsistema dell'Incoronata (RPL<sub>1</sub>), sul subsistema delle Marane La Pidocchiosa-Castello (RPL<sub>3</sub>), sui depositi di versante (a), sui depositi alluvionali recenti (b<sub>b</sub>), sul subsistema di Amendola (MLM<sub>1</sub>). Il limite superiore coincide con la superficie topografica o con la base dei depositi alluvionali attualmente in evoluzione (b<sub>a</sub>), dei depositi antropici (h), dei depositi palustri (e<sub>s</sub>), o delle sabbie litorali (g<sub>2</sub>).

E' costituita da depositi alluvionali passanti verso la costa a depositi di spiaggia sommersa. I depositi alluvionali sono costituiti prevalentemente da argille, sabbie e silt di colore dal bruno scuro, al grigio, al giallastro, spesso con lamine da piano-parallele ad ondulate, presenti soprattutto nei livelli sabbiosi e limosi; contengono fauna continentale rappresentata da gasteropodi terrestri, tra cui: *Cerņuella virgata* (DA COSTA) e *C. cisalpina* (ROSSMAESSLER).

L'ambiente di sedimentazione è di piana alluvionale a bassa energia con episodi di *overbank* (Fig. 18).

Verso est si passa a depositi di spiaggia sommersa costituiti da sabbie grigio chiaro da fini a grossolane, con intercalati livelli di ciottoli silicei di provenienza gorganica (DE SANTIS & CALDARA, 2015). Le associazioni fossilifere riconosciute indicano ambienti tipici infralitorali poco profondi delle Sabbie Fini Ben Calibrate (SFBC; *sensu* PÉRÈS, 1967), contraddistinti da *Macra stultorum* (LINNEO), *Spisula subtruncata* (DA COSTA), *Chamelea gallina* (LINNEO) e *Donax* sp. (perforazione Pt8), che passano lateralmente a Sabbie Argillose in Ambiente Calmo (SVMC *sensu* PÉRÈS, 1967) con *Divaricella divaricata* (LINNEO), *Loripes lacteus* (LINNEO), *Tellina distorta* POLI, *Glycimeris glycimeris* (LINNEO), *Dosinia lupinus* (LINNEO), *Phaxas*





Fig. 18 - Depositi argillosi tagliati da sabbie di overbank (Torrente Cervaro).

*pellucidus* (PENNANT), *Nuculana pella* (LINNEO), *Abra prismatica* (MONTAGU), *Dentalium bifissum* WOOD, *Donax* sp. (perforazione MM4).

Lo spessore dell'unità varia da pochi metri lungo i corsi d'acqua minori (Fig. 19) fino ad un massimo di circa 15 metri in corrispondenza della piana costiera.

Questa unità è riferibile all'Olocene.

Le datazioni ottenute con il metodo del radiocarbonio indicano che l'unità è riferibile alla fase di alluvionamento dovuta alla risalita marina postwürmiana; l'età è quindi l'Olocene. In particolare, per i depositi continentali, le date più vecchie, effettuate su esemplari di *Cerneuella virgata*, hanno fornito un'età di  $7.150 \pm 40$  BP (località Passo Breccioso, campione VZ166b1, Tab. V), mentre le più recenti, riferite ad episodi di *overbank* del Torrente Cervaro, hanno fornito un'età di  $2.100 \pm 30$  e  $2.150 \pm 40$  BP (VZ193a2, VZ193b, Tab. V).

Altre indicazioni cronologiche relative all'unità NAQ derivano dallo studio di un orizzonte di materiale piroclastico rinvenuto in perforazione (sondaggio CN2) nell'area della Masseria Coppa Nevigata (CALDARA *et alii*, 2001); l'esame microscopico suggerisce che il deposito piroclastico è composto da due "popolazioni di sedimenti", una riferibile al ciclo di attività dei Campi Flegrei compreso tra 4.800 e 3.800 anni fa circa (ROSI & SBRANA, 1987; SANTACROCE, 1987; VEZZOLI, 1988), l'altra riferibile alle Pomici di Avellino, emesse dal Somma-Vesuvio tra 3.900 e 3.350 anni fa circa.



Fig. 19 - Carotaggio in località Piscitelli e Paglia. I depositi fini dell'unità NAQ costituiscono i primi 7,5 metri; al di sotto vi sono le ghiaie del subsistema dell'Incoronata (RPL).

## 5. - UNITÀ TARDO QUATERNARIE NON DISTINTE IN BASE AL BACINO DI APPARTENENZA

Appartengono a questa categoria tutte quelle unità la cui distribuzione in affioramento, e quindi la deposizione, non è correlata all'attività di un corso d'acqua o bacino idrografico definito. La distribuzione di tali unità risulta quindi abbastanza ubiquitaria nell'ambito del Foglio.

### 5.1. - DEPOSITI DI VERSANTE (a)

Unità affiorante esclusivamente nella fascia pedegarganica.

Il limite inferiore è costituito da una superficie di discordanza che coincide con il locale tetto del calcare di Bari (CBA), del subsistema di Amendola (MLM<sub>1</sub>) o del sistema di Masseria Finamondo (TPF). Il limite superiore è costituito da una superficie di discordanza che mette l'unità in contatto con i depositi alluvionali recenti (b<sub>p</sub>) oppure coincide con la superficie topografica.

L'unità è costituita da breccie eterometriche cementate formate da clasti calcarei spigolosi in matrice argillosa bruno-rossastra con tessitura variabile da fango-sostenuta a clasto-sostenuta. Localmente, il grado di cementazione può essere elevato tanto da dare l'aspetto della "breccia a mortadella".

Lo spessore massimo è di alcuni metri.

L'unità è riferibile al Pleistocene superiore - Olocene.

### 5.2. - DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI (**b<sub>b</sub>**)

Questa unità, come la precedente, affiora esclusivamente lungo la fascia pedegarganica.

Il limite inferiore è costituito da una superficie di discordanza che mette questa unità in contatto con il calcare di Bari (CBA), con il subsistema di Amendola (MLM<sub>1</sub>), con il sistema di Masseria Finamondo (TPF) o con i depositi di versante (a). Il limite superiore è costituito da una superficie di discordanza che mette l'unità in contatto con il sistema di Masseria Inacquata (NAQ), i depositi antropici (h), oppure coincide con la superficie topografica.

Questi depositi sono in facies di conoide alluvionale e sono costituiti da conglomerati a clasti prevalentemente calcarei subarrotondati da centimetrici a decimetrici organizzati in lenti e tasche erosive, contenenti ciascuna clasti a medesima granulometria o gradate; a questi livelli conglomeratici sono alternati livelli e/o lenti di sabbia fine e/o limo da marroncino a rossastro (Fig. 20). Localmente, il grado di cementazione può essere elevato. Nella parte alta, si rinvengono manufatti litici in selce, probabilmente non più antichi del Neolitico.

Lo spessore massimo è di alcuni metri.

L'unità è riferibile al Pleistocene superiore - Olocene.

### 5.3. - DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALMENTE IN EVOLUZIONE (**b<sub>a</sub>**)

Depositati sabbioso-limosi di colore dal bruno scuro al giallastro, fittamente laminati, attualmente in evoluzione negli alvei attivi dei torrenti Candelarò, Cervaro, Carapelle.

L'unità è riferibile all'Olocene.





Fig. 20 - Particolare dei depositi di conoide alluvionale in posizione distale nei pressi di Masseria Valente.

#### 5.4. - COLTRE ELUVIO-COLLUVIALE ( $b_2$ )

Depositi limosi e limoso-argillosi bruni, a luoghi tendenti al rossastro, con dispersi elasti calcarei spigolosi di diverso diametro, derivanti dal ruscellamento di acque incanalate e da alterazione in posto del substrato. Occupano generalmente il fondo di lame, depressioni e solchi erosivi in genere. Lo spessore è molto variabile raggiungendo anche alcuni metri.

L'unità è riferibile all'Olocene.

#### 5.5. - DEPOSITI DI SPIAGGIA ( $g_2$ )

Questa unità affiora grosso modo lungo una ristretta fascia costiera che comprende le spiagge emerse attuali fino alla prima duna costiera. Essa poggia sul sintema di Masseria Inacquata (NAQ), mentre il limite superiore coincide con la superficie topografica.

E' costituita da sabbie marine grigiastre con contenuto faunistico riconducibile alle attuali biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate e delle Sabbie Argillose in Ambiente Calmo (*sensu* PÉRÈS, 1967), depositatesi in ambiente di spiaggia emersa e di piattaforma prossimale. Queste sabbie sono sormontate da sabbie grigie di ambiente variabile dalla spiaggia emersa alla duna costiera.

Da questa unità provengono 2 datazioni, di cui una effettuata con il metodo  $C^{14}$  (proveniente dal pozzo IPPO) ed una con il metodo della racemizzazione degli amminoacidi (AAR) (proveniente dal pozzo MM4). La datazione  $C^{14}$  (Tab. V) ha fornito un'età di  $2.080 \pm 40$  BP. La datazione AAR ha fornito un'età di  $4.400 \pm 1.700$

BP. Una data relativa alle dune in erosione in località il Quarto (Foglio 423 “Barletta”), effettuata su gasteropodi polmonati, ha dato un’età di 1.974±35 BP.

L’unità, nel suo complesso, è pertanto riferibile agli ultimi millenni dell’Olocene.

#### 5.6. - DEPOSITI PALUSTRI (e<sub>5</sub>)

Depositi costituiti da sedimenti argillosi e torbosi di colore dal marrone scuro al nero, riferibili a paludi attuali e subattuali, che occupano aree residue non interessate da bonifiche per colmata. Lo spessore massimo è di alcuni metri.

L’unità è riferibile all’Olocene.

#### 5.7. - SALINE (h<sub>2</sub>)

Depositi di sale dovuti ad attività antropica di produzione di sale marino. Sono presenti all’interno delle vasche evaporanti dello stabilimento di Margherita di Savoia.

#### 5.8. - DEPOSITI ANTROPICI (h)

Si tratta di depositi dovuti all’azione antropica: essi, nell’area del Foglio 409 “Zapponeta”, comprendono depositi dovuti a lavori di bonifica della piana costiera del Tavoliere per colmata e depositi storico-archeologici, limitati ad alcune aree relative ad insediamenti storici, ricche in reperti archeologici.

I depositi di colmata storici sono costituiti da argille da grigio chiaro a grigio scuro, deposte in seguito ad interventi antropici per il colmamento e la bonifica della piana costiera del Tavoliere. Si estendono nell’area che, ai primi del ‘900, era occupata dai laghi Contessa, Versentino, Salso, Salpi, e nella fascia prossima alla costa.

Da segnalare che, negli ultimi 10 anni, in vaste aree bonificate della piana costiera del Tavoliere, i depositi argillosi di colmata sono stati rimescolati, con l’utilizzo di escavatori, con le sabbie sottostanti (appartenenti alle unità NAQ e/o g<sub>2</sub>). Questo allo scopo di rendere i terreni più permeabili e drenanti, favorendo così la possibilità di impiantare colture di pregio. Attualmente quindi, in affioramento nelle zone di colmata, si rinvencono sedimenti sabbiosi o sabbioso-argillosi, piuttosto che argillosi.

Nell’ambito del Foglio 409 “Zapponeta” si è ritenuto opportuno far rientrare, nella categoria dei depositi antropici, anche le aree diffusamente interessate dalla presenza di materiale e strutture antropiche. Si tratta di aree la cui stratificazione archeologica, riconducibile ad un periodo compreso tra l’Età del Bronzo e il Medio Evo, ha costituito un accumulo di alcuni metri.

Fra queste aree, di notevole importanza storico-archeologica sono le due situate

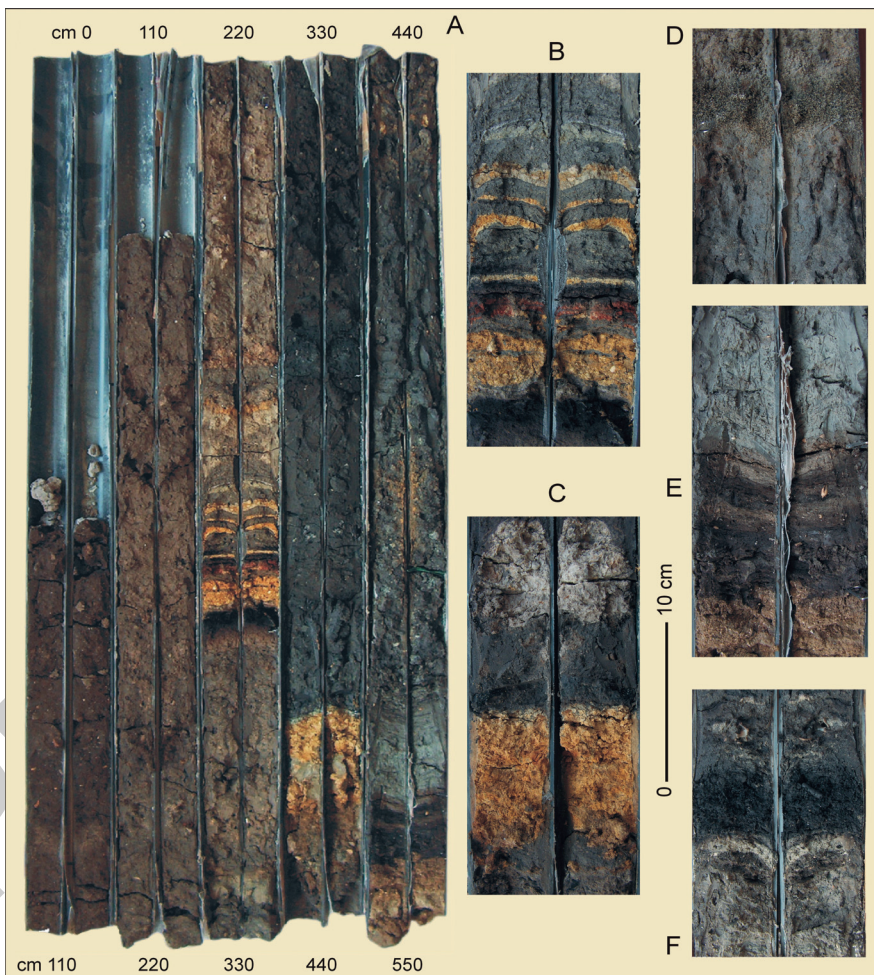


Fig. 21 - Sondaggi effettuati nei pressi dell'insediamento di Coppa Nevigata. A) Carotaggio CN 14. I primi metri sono costituiti dalle colmate storiche che hanno coperto depositi di origine antropica alternati a sedimenti naturali. B-F) particolari di alcune carote: B = sondaggio CN14, alternanza di piani battuti gialli e grigi, con livelli rossi di concotto e neri di suoli bruciati; C = sondaggio CN12, due battuti giallo e grigio; D = sondaggio CN12, limi con sottili radici verticali sormontati da un orizzonte vulcanoclastico caratterizzati da faune lagunari; E = sondaggio CN14, sabbie giallastre con fauna lagunare sormontate da argille sottilmente laminate ricche di sostanza organica che passano ad argille di salt marsh grigie massicce con tracce di radici; F = sondaggio CN15, piano battuto di colore grigio sormontato da un orizzonte di resti vegetali combusti (da CALDARA et alii, 2005b).

in località Giardino; quella più meridionale è l'insediamento di Salapia, antico abitato dauno posto a ridosso della laguna di Salpi (DELANO SMITH, 1975; CALDARA *et alii*, 2002); quella più settentrionale rappresenta una parte dell'abitato romano di Salapia. Una terza area è stata cartografata in località il Monte, corrispondente al sito ove Federico II di Svevia aveva costruito il castello di Salpi, di cui oggi non rimane più traccia. Questo edificio è sovrapposto alle rovine della Salapia fatta costruire dai romani.

Una quarta area è rappresentata dall'insediamento medioevale di Masseria Petruzzo dove si registra una serie di cortine difensive perimetrali e di piattaforme di terra nettamente rialzate rispetto al circostante piano di campagna, di forma approssimativamente quadrangolare con gli angoli arrotondati.

Una quinta area, situata presso Masseria Coppa Nevigata, corrisponde ad un sito dauno dove, oltre alla collina su cui si sono accresciute le numerose stratificazioni dell'insediamento, è presente, coperto dai depositi di colmata storici (h) un forte spessore di depositi antropici, quali focolari, strutture di capanne, battuti ed altro (Fig. 21).

## 6. - CALCRETE O CROSTA PUGLIESE

A luoghi, sopra i depositi del sintema di Foggia (TGF) e dei subsintemi di Amendola (MLM<sub>1</sub>) e dell'Incoronata (RPL<sub>1</sub>), dove il loro limite superiore coincide con la superficie topografica, vi può essere un *calcrete* (CALDARA *et alii*, 2011), localmente chiamata “*crosta pugliese*”.

La “*crosta pugliese*” è dovuta principalmente ad un processo pedogenetico; infatti si tratta di un arricchimento di carbonati per evaporazione sotto condizioni climatiche di tipo arido o subarido (CARNICELLI *et alii*, 1989). Tale processo, secondo MINIERI (1955) limitato al Tirreniano, si è ripetuto più volte nel passato ed ha interessato, con modalità diverse, tutte le litologie. I maggiori spessori vengono raggiunti dalla crosta pugliese che ricopre le sabbie del subsintema di Amendola (MLM<sub>1</sub>); questa, inoltre, presenta delle caratteristiche comuni in quasi tutti gli affioramenti: nella parte bassa si ritrovano solo noduli carbonatici bianchi, isolati, friabili al tatto; questi poi vanno aumentando in numero e volume a scapito del sedimento ospitante fino alla completa coalescenza: si osserva allora uno strato continuo di crosta pulverulenta biancastra, friabile, tipo cipria. Questa poi passa gradualmente verso l'alto ad un calcare straterellato fortemente indurito, di colore grigiastro.

Sui depositi sabbiosi-ghiaiosi del sintema di Foggia (TGF) la crosta pugliese è costituita da noduli carbonatici bianchi che aumentano verso l'alto in numero e dimensione fino a costituire un vero e proprio *hard pan* su ghiaie. Sui depositi fini del subsintema di Incoronata (RPL<sub>1</sub>) la crosta si presenta costituita da noduli e/o livelli carbonatici straterellati e friabili (Fig. 22).





Fig. 22 - Particolare della crosta pugliese che ricopre l'unità  $MLM_1$ , in località Posta Piana: in basso il livello in cui i noduli carbonatici sono in quasi completa coalescenza a scapito del sedimento ospitante, costituito dalle argille che caratterizzano la parte alta dell'unità  $MLM_1$ . In alto si vede il livello di calcare indurito.

Riguardo l'età di formazione della “*crosta pugliese*”, sono state effettuate alcune datazioni al radiocarbonio su quella che ricopre il subsistema di Amendola ( $MLM_1$ ), che raggiunge gli spessori maggiori. Si tratta di due campioni provenienti dalla località Posta Piana (Fig. 23), sull'alto di Amendola: uno più basso (VZ68e; Tab. V), prelevato all'interno della facies pulverulenta biancastra, ed uno prelevato a meno di un metro sopra il precedente, al di sopra di un livelletto più indurito (VZ68f; Tab. V). I due campioni hanno fornito rispettivamente un'età di  $34.405 \pm 600$  e  $4.520 \pm 70$  BP; queste due date permettono di affermare che la crosta che ricopre il subsistema di Amendola ( $MLM_1$ ) è certamente polifasica; dato questo confermato e rafforzato dagli spessori massimi raggiunti dalla crosta pugliese che ricopre questa unità.

Per l'importanza dal punto di vista geologico-applicativo (caratteristiche geotecniche, durezza, compattezza, etc.), agrario e idrogeologico (praticamente impermeabile o permeabile per fratturazione) le aree in cui è presente la crosta sono state cartografate e riportate in carta con un sovrassegno.

## 7. - DEPOSITI DELL'AREA SOMMERSA



Fig. 23 - Crosta pugliese in località Posta Piana, dove sono state effettuate datazioni al radiocarbonio su polmonati.

descrizione, limitandoci in questa sezione alla descrizione litologica dell'ultimo metro più superficiale (unità  $g_8$ ,  $g_{18}$  e  $m_9$ ).

### 7.1. - SPIAGGIA SOMMERSA ( $g_8$ )

Depositi costituiti da sabbie grigiastre con contenuto faunistico riconducibile alle attuali biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate (*sensu* PÉRÈS, 1967) e delle Sabbie Fini Superficiali (*sensu* PÉRÈS & PICARD, 1964), depositatesi in ambiente di spiaggia sommersa.

L'unità è riferibile all'Olocene e, più in dettaglio, all'attuale fase di stazionamento alto del livello del mare.

### 7.2. - DEPOSITO DI PIATTAFORMA ( $g_{18}$ )

Depositi prevalentemente argilloso-limosi o limoso-argillosi, più raramente con componente sabbiosa o ghiaiosa, comunque quasi sempre minoritaria e limita-

In questa sezione sono stati raggruppati i depositi che ricoprono i fondali marini ricadenti nell'area del Foglio 409 "Zapponeta". Tali depositi sono stati identificati grazie a bennate sul fondo e profili *Side Scan Sonar* (cfr. cap III par. 3 e cap. V par. 1.5). Si tratta di coperture con spessori generalmente esigui, forse intorno al metro, distinte in tre unità; due di queste, spiaggia sommersa ( $g_8$ ) e deposito di piattaforma ( $g_{18}$ ) costituiscono la parte superficiale del *systems tract* di alto stazionamento del livello del mare (*HST*); la terza unità è un deposito palinsesto ( $m_9$ ). Poiché le caratteristiche complessive dell'unità *HST* (giacitura, rapporti stratigrafici, *facies*) sono state dedotte dalle indagini sismiche, si rimanda al capitolo V per una più completa

ta alla parte più settentrionale dell'area del Foglio.

L'unità è riferibile all'Olocene e, più in dettaglio, all'attuale fase di stazionamento alto del livello del mare.

### 7.3. - CORPI LITOIDI ORGANOGENI ( $g_{13}$ )

Mancando campioni prelevati su questa unità, la sua identificazione si è basata su profili sismici, su immagini *Side Scan Sonar* (SSS) e su dati di letteratura. I dati sismici ed acustici, unitamente alla collocazione spaziale, mostrano corpi litoidi che si elevano, anche alcuni metri, dal fondo. OELTSCNHER E SIGL (1970) e SIGL (1973) descrivono questi corpi come concrezioni biogeniche coralligene, prodotte da fenomeni di cementazioni locali di alghe, briozoi, serpulidi e/o molluschi calcarei.

L'inizio della formazione di questa unità è collocabile alle fasi finali dell'ultima risalita post-würmiana del livello del mare, dopo che il mare annegò gli alti morfologici formatisi quando la piattaforma continentale era emersa.

L'unità è quindi riferibile all'Olocene.

### 7.4. - DEPOSITO PALINSESTO ( $m_9$ )

In affioramento, questa unità si presenta prevalentemente costituita da sedimenti più grossolani rispetto a quelli delle altre unità del fondale: si tratta infatti di sabbie da grossolane a medie e, localmente, di sabbie debolmente ghiaiose, affioranti lungo una fascia, articolata e discontinua, che parte fra 1 e 5 km dalla costa e si estende per alcuni chilometri verso il largo. L'inizio della formazione di questa unità è collocabile alle fasi finali dell'ultima risalita post-würmiana del livello del mare, quando la trasgressione marina ha raggiunto e rielaborato le superfici degli alti morfologici formatisi sulla piattaforma continentale lasciata scoperta durante la glaciazione würmiana (DE SANTIS & CALDARA, 2016; cfr. cap. V); tuttavia, almeno in parte, i depositi generati dalla rielaborazione del substrato si sono poi mescolati a quelli dello stazionamento alto attuale.

L'unità è quindi riferibile all'Olocene.



## V - GEOLOGIA MARINA

### 1. - DATI TECNICI SUL RILIEVO

La pianificazione della campagna di rilievo è stata fatta partendo dalla valutazione complessiva della parte sommersa del Foglio 409 “Zapponeta” che si estende per circa 116 km<sup>2</sup> e presenta un fondale dolcemente digradante verso il largo; l’isobata più profonda è la -15 m.

#### 1.1. - IMBARCAZIONE E SISTEMA DI POSIZIONAMENTO UTILIZZATI

L’imbarcazione utilizzata è stata M/B Akyra gommone cabinato in VTR immatricolato (BA4579) presso la Capitaneria di Porto di Bari. Il mezzo è equipaggiato con 2 gruppi elettrogeni capaci di fornire corrente elettrica a 220 V e 400 V a tutti i sistemi necessari all’esecuzione del rilievo.

Il posizionamento planimetrico dell’imbarcazione è stato ottenuto mediante l’utilizzo di un ricevitore GPS differenziale a 12 canali di tipo THALES Landstar. Questo sistema ha assicurato una precisione submetrica nel posizionamento dell’imbarcazione e di tutti i dati acquisiti.

Il GPS è stato interfacciato via porta seriale ad un computer portatile equipaggiato con il software di navigazione THALES PDS 2000 o CT NavPRO 6.0.

## 1.2. - RILIEVO SISMOSTRATIGRAFICO

Il rilievo sismostratigrafico è stato eseguito mediante un Sub Bottom Profiler (SBP) BENTHOS CHIRP III ad altissima risoluzione con impulso a tecnologia Chirp a frequenza simultanea 2÷7 kHz con *array* a 4 trasduttori.

Il sistema è costituito da una unità di controllo (PC) equipaggiata con il software CT Swan Pro 2.00. L'*array* dei trasduttori è alloggiata su una slitta galleggiante e trainata a distanza di qualche metro dall'imbarcazione.

Il sistema è interfacciato in tempo reale al sistema di navigazione che provvede al calcolo della posizione della slitta galleggiante. Le coordinate così calcolate, unitamente ad un numero di fix progressivo, sono inviate in tempo reale al sistema di acquisizione in modo da essere registrate insieme ai dati acustici nel formato SEG Y o XTF.

## 1.3. - MODALITA' DI ESECUZIONE DEL RILIEVO SISMOSTRATIGRAFICO E MORFOLOGICO

Sia il rilievo sismostratigrafico (mediante SBP) che quello morfologico (mediante SSS) sono stati eseguiti contemporaneamente navigando lungo stessi transetti teorici precedentemente pianificati. Ogni transetto è stato identificato tramite codice univoco ed inserito nel sistema di navigazione che ha permesso al pilota del mezzo di navigare con la massima accuratezza su di essi.

In dettaglio, la quantità di rilievo eseguita è consistita in: 11 transetti lunghi circa 8 Km, perpendicolari alla costa e distanziati tra di loro di circa 1,8 Km; 3 transetti lunghi circa 12 Km ciascuno, subparalleli alla linea di costa, con interesse di circa 2 Km di lunghezza (Figg. 24, 25).

## 1.4. - RILIEVO MORFOLOGICO

Il rilievo morfologico è stato eseguito, contemporaneamente al rilievo sismostratigrafico, mediante un Side Scan Sonar (SSS) BENTHOS SIS-1500 con impulso a tecnologia Chirp e frequenza 190-210 kHz, che consente di investigare la morfologia e la natura del fondo marino e rilevare eventuali oggetti adagiati sul fondale (Fig. 26).

In base alle profondità di acqua in area lavoro, lungo ogni rotta il SSS opera con un range di 200 o 150 metri per canale, con il trasduttore che è stato trainato dall'imbarcazione ad una profondità tale che la distanza trasduttore-fondo è pari a circa 5 %-15% del range utilizzato.

La posizione del veicolo è determinata in tempo reale dal software di navigazione THALES PDS2000 o CT NavPro 6.0 sulla base degli *offset* impostati e della direzione di avanzamento dell'imbarcazione.



Fig. 24 - Ubicazione dei campionamenti nell'area del Foglio e unità del fondo marino individuate..

### 1.5. - PRELIEVO DI CAMPIONI DI SEDIMENTO

E' stato effettuato prelievo di 40 campioni di sedimento dal fondo tramite benna mordente tipo VanVeen (Fig. 24).

I punti di campionamento sono stati posizionati all'interno dell'area di rilievo stessa. Per l'esecuzione di questa attività è stato utilizzato il sistema di posizionamento dell'imbarcazione precedentemente utilizzato per il rilievo geofisico. Le coordinate calcolate, unitamente ad un numero di fix progressivo, sono inviate in tempo reale al sistema di acquisizione del SSS in modo da essere registrate insieme ai dati acustici nel formato XTF.

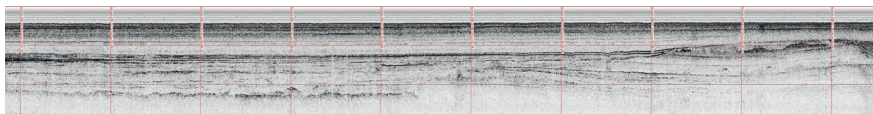


Fig. 25 - Esempio di rilievo sismostratigrafico SBP completo lungo il transetto T1

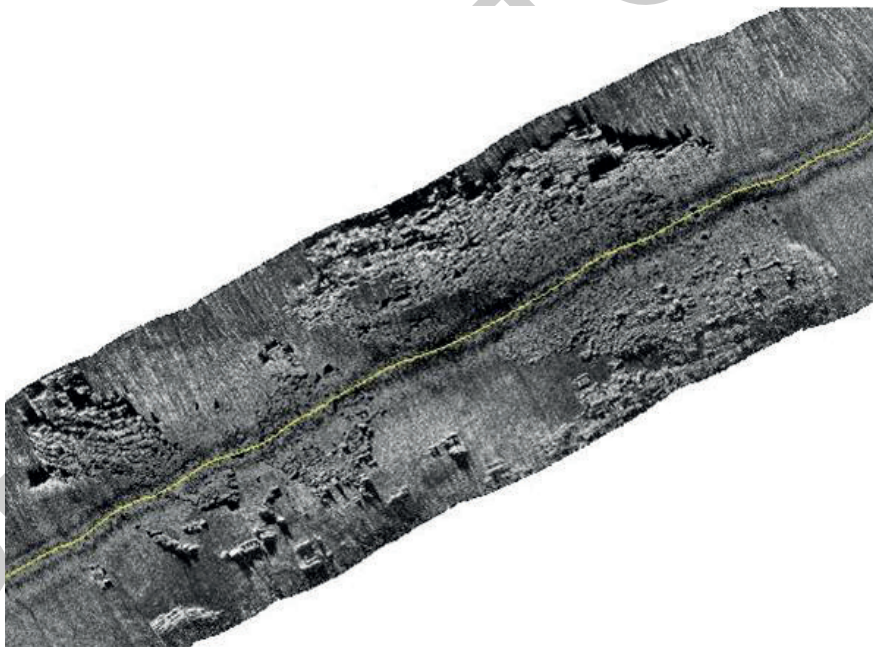


Fig. 26 - Esempio di rilievo morfologico SSS lungo un tratto del transetto L05\_001

#### 1.6. - ELABORAZIONE DATI

L'elaborazione dei dati ha riguardato separatamente i dati morfologici e quelli sismostratigrafici

I dati morfologici, registrati in formato XTF, sono stati elaborati mediante il software CARIS SIPS (*Sonar Image Processing System*).

Le principali fasi di elaborazione sono qui di seguito riportate: pulizia dei dati di navigazione (in particolare salti di navigazione), applicazione della correzione di *slant range* e produzione del fotomosaico in formato *raster* (GeoTIFF, ecc. ecc.).

I dati sismostratigrafici sono stati elaborati tramite *software* TRITONELICS Delph Seismic, al fine di ottenere il miglior rapporto segnale/rumore attraverso

Tab. VII - *Granulometria dei campioni prelevati dal fondo marino (per l'ubicazione dei punti di campionamento vedi Fig. 24). La nomenclatura dei campioni indica la composizione granulometrica secondo A.G.I (1963).*

CODICE	LONG WGS 84	LAT WGS 84	ghiaia %	sabbia %	limo %	argilla %	DESCRIZIONE
1	15° 54' 36"	41° 35' 47"			69.03	30.97	<i>limo con argilla</i>
2	15° 56' 23"	41° 35' 47"	25.38	70.01	4.61		<i>sabbia ghiaiosa</i>
3	15° 57' 56"	41° 35' 48"	3.12	85.19	6.68	5.01	<i>sabbia deb. limoso argillosa</i>
4	15° 58' 11"	41° 34' 53"	0.72	2.59	64.60	32.09	<i>limo con argilla</i>
5	15° 56' 40"	41° 34' 47"			59.27	40.73	<i>limo con argilla</i>
6	15° 55' 16"	41° 33' 44"	1.85	97.12	1.03		<i>sabbia</i>
7	15° 56' 54"	41° 33' 56"	9.13	88.75	2.13		<i>sabbia deb. ghiaiosa</i>
8	15° 58' 19"	41° 34' 18"			55.50	44.50	<i>limo con argilla</i>
9	15° 58' 36"	41° 33' 11"			72.85	27.15	<i>limo con argilla</i>
10	15° 57' 13"	41° 32' 52"	4.64	93.50	1.85		<i>sabbia</i>
11	15° 58' 50"	41° 32' 24"			47.74	52.26	<i>argilla con limo</i>
12	15° 57' 28"	41° 31' 59"	6.92	91.86	1.22		<i>sabbia deb. ghiaiosa</i>
13	15° 55' 56"	41° 31' 32"		6.39	83.60	10.01	<i>limo deb. argilloso ghiaioso</i>
14	15° 57' 44"	41° 31' 06"	1.77	97.66	0.57		<i>sabbia</i>
15	15° 59' 23"	41° 31' 46"			51.20	48.80	<i>limo con argilla</i>
16	15° 59' 59"	41° 31' 04"	1.87	2.34	36.76	59.04	<i>argilla con limo</i>
17	15° 58' 27"	41° 30' 22"	0.23	99.40	0.38		<i>sabbia</i>
18	15° 57' 03"	41° 29' 48"			41.31	58.69	<i>argilla con limo</i>
19	15° 59' 03"	41° 29' 38"	0.81	98.03	1.17		<i>sabbia</i>
20	16° 00' 34"	41° 30' 26"	14.49	82.44	3.06		<i>sabbia deb. ghiaiosa</i>
21	16° 01' 07"	41° 29' 49"	9.57	87.57	2.86		<i>sabbia deb. ghiaiosa</i>
22	15° 59' 44"	41° 28' 52"	4.43	95.26	0.32		<i>sabbia</i>
23	15° 58' 43"	41° 28' 10"			45.61	54.39	<i>argilla con limo</i>
24	16° 00' 24"	41° 28' 07"	8.54	90.89	0.56		<i>sabbia deb ghiaiosa</i>
25	16° 01' 41"	41° 29' 12"	9.43	87.54	3.03		<i>sabbia deb ghiaiosa</i>
26	15° 58' 16"	41° 34' 30"			56.43	43.57	<i>limo con argilla</i>
27	15° 59' 45"	41° 33' 02"	2.70	2.30	48.41	46.58	<i>limo con argilla</i>
28	15° 58' 01"	41° 32' 35"			49.33	50.67	<i>argilla con limo</i>
29	15° 59' 46"	41° 35' 47"	13.05	76.13	7.27	3.55	<i>sabbia deb. ghiaioso limosa</i>
30	16° 02' 19"	41° 29' 43"	14.19	83.54	2.27		<i>sabbia deb ghiaiosa</i>
31	16° 02' 03"	41° 30' 28"			41.70	58.30	<i>argilla con limo</i>
32	16° 01' 35"	41° 30' 57"			44.72	55.28	<i>argilla con limo</i>
33	16° 00' 59"	41° 31' 29"			47.03	52.97	<i>argilla con limo</i>
34	15° 58' 50"	41° 30' 34"	2.90	96.56	0.54		<i>sabbia</i>
35	16° 00' 07"	41° 32' 02"			45.16	54.84	<i>argilla con limo</i>
36	15° 59' 33"	41° 34' 57"			58.39	41.61	<i>limo con argilla</i>
37	15° 57' 30"	41° 34' 50"			57.32	42.68	<i>limo con argilla</i>
38	15° 57' 45"	41° 34' 14"	10.78	83.13	5.18	0.89	<i>sabbia deb. ghiaioso limosa</i>
39	15° 59' 42"	41° 33' 23"			48.89	51.11	<i>argilla con limo</i>
40	15° 58' 01"	41° 33' 02"			51.64	48.36	<i>limo con argilla</i>

filtraggi, guadagni, ecc. I dati sono stati convertiti in formato digitale/immagine per la successiva interpretazione. Ogni sezione sismica è stata importata in TRITONELIS Seismic GIS che ha permesso l'immediata georeferenziazione e interpretazione dei dati acquisiti.

I problemi più comuni incontrati nella fase di lettura e interpretazione dei dati sismostratigrafici sono stati i seguenti:

- una incostante penetrazione del segnale sismico, che infatti è stata da nulla fino ad un massimo di 50 ms. La penetrazione nulla corrisponde ad affioramenti di corpi litoidi; corpi sabbiosi grossolani hanno permesso penetrazioni comunque ridotte; le massime penetrazioni del segnale sismico sono avvenute in sedimenti medio-fini, dove si sono in qualche caso superati valori di penetrazione di 50 ms.
- presenza di gas all'interno del sedimento, che obliterano i riflettori sismici.
- presenza di multiple.

## 2- SISMOSTRATIGRAFIA

Il primo elemento per importanza, che emerge dallo studio della parte a mare, è la presenza di una superficie sismica sepolta principale ( $S_1$ ). Essa è evidenziata in quasi tutte le sezioni SBP e si presenta come un forte riflettore che coincide o con una superficie di discordanza fra riflettori sismici sovrastanti e sottostanti o, più spesso, con una netta superficie di separazione tra facies sismiche a comportamento differente (Figg. 30 e 31). La superficie  $S_1$  si presenta altresì spesso accidentata e irregolare.

Questa superficie è situata ad una profondità compresa tra il fondo marino stesso e un massimo di circa 35 metri e individua tre bassi morfologici, oggi sepolti, numerati da 1 a 3 in Fig. 27. Il basso morfologico 1 si estende in direzione E-O; partendo dalla costa esso è costituito da due subcanali (profilo T1 in Fig. 27) che si unificano, approfondendosi, verso est (profilo T3 in Fig. 27).

Il basso morfologico 2 ha un andamento sinuoso grosso modo a cavallo dell'attuale linea di costa; esso parte dalla zona poco a nord della foce del torrente Cervaro per allargarsi e approfondirsi verso sud-est. Questo basso morfologico è intercettato trasversalmente dai profili L1, L2, L3, L4, L5 (Fig. 27) e longitudinalmente dal profilo T1 (Fig. 27), dove si notano due soglie minori che ne interrompono la continuità. La profondità massima è intorno ai 25 metri nel profilo L1, per poi superare i 30 metri nei profili L2 ed L3; a partire dal profilo L4 e procedendo verso nord, il basso morfologico 2 decresce in profondità e larghezza fino alla chiusura.

Il basso morfologico 3 si estende nella parte orientale dell'area indagata; esso è separato dal basso morfologico 1 da una soglia stretta (profilo T3 in Fig. 27), allungata in direzione OSO-ENE individuabile a cavallo del profilo L5.

Il basso morfologico 3 è separato dal basso morfologico 2 da una più ampia soglia.

In base alla posizione, ai dati acquisiti nella parte a terra nonché ai dati di letteratura (DE SANTIS & CALDARA, 2016), la superficie sismica principale ( $S_1$ ; Fig.



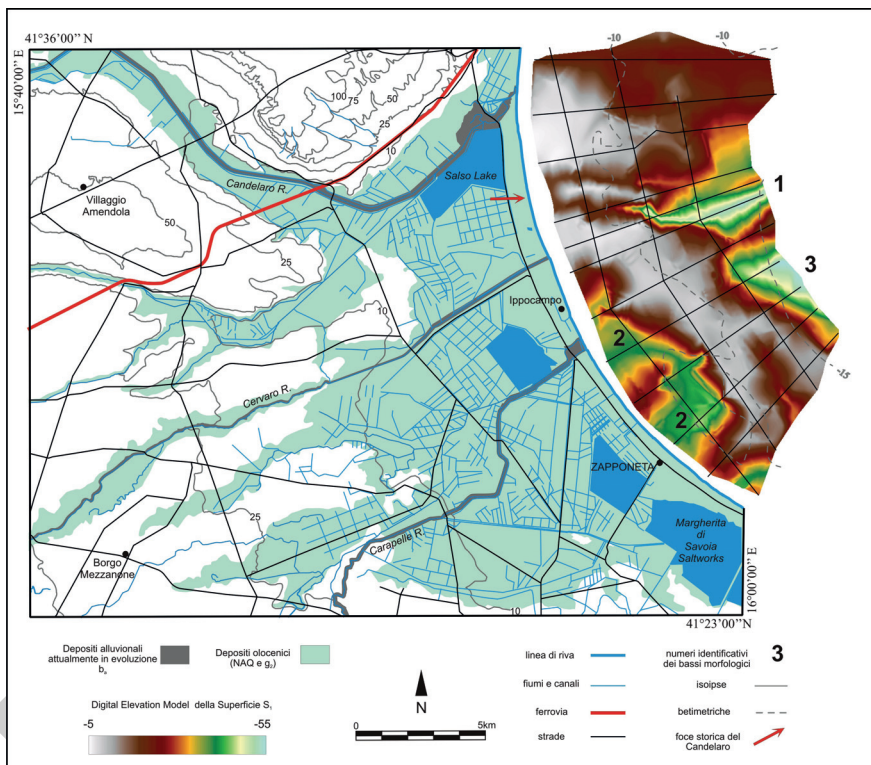


Fig. 27 - Ricostruzione della superficie sismica principale ( $S_1$ ), con i 3 bassi morfologici.  
Da: DE SANTIS & CALDARA, 2016.

27) è stata interpretata come la superficie erosiva corrispondente al MIS 2 (Last Glacial Maximum + Tardoglaciale *p.p.*, o Würm superiore *p.p.*, *sensu* OROMBELLI *et alii*, 2005).

In quest'ottica, il basso morfologico 1 è interpretabile come il solco lasciato dal paleo - Candalaria sulla piattaforma continentale emersa durante l'acme glaciale (MASELLI & TRINCARDI, 2013). Esso, infatti, è allineato con quella che, ancora fino alla fine del secolo XVIII, era la foce naturale del torrente (RIZZI ZANNONI, 1783), prima che fosse deviata più a nord nell'attuale posizione.

L'attribuzione della superficie  $S_1$  al MIS 2 è alla base dell'identificazione dei terreni sottostanti e sovrastanti: sotto tale superficie è stata individuata un'unità pre-Würm superiore (*PW*; Figg. 28, 29, 30, 31); sopra tale superficie sono state individuate due unità del MIS 1.

Superiormente alla superficie sismica principale ( $S_1$ ), ne è stata individuata una



seconda, denominata superficie sismica secondaria ( $S_2$ ; Figg. 28, 32, 33): essa si colloca ad una profondità compresa tra il fondo marino e 15 metri circa. La  $S_2$  è più discontinua della  $S_1$  ed è stata interpretata anch'essa come una superficie erosiva permettendo così di distinguere le due unità databili al MIS 1: la più antica, denominata "unità trasgressiva" (*TST*; Figg. 28, 29, 30, 31) è quella compresa tra la  $S_1$  e la  $S_2$ ; la più recente si colloca al di sopra della  $S_2$  e corrisponde all'unità *HST* (Fig. 32, 33).

## 2.1 - UNITÀ PRE-WÜRMIANA (*PW*)

Sotto questa voce sono stati raggruppati tutti i terreni presenti al di sotto della superficie sismica principale ( $S_1$ ; Figg. 29, 30, 31) e caratterizzati esclusivamente su basi sismostratigrafiche.

Il segnale sismico è caratterizzato da una riflettività variabile. La penetrazione del segnale non supera mai i 50 ms t.d.: in particolare, quando l'unità risale verso il fondale, il segnale penetra in misura sempre minore sino alla riflessione quasi totale nelle aree in cui l'unità stessa affiora.

Riguardo la geometria interna del corpo, solo in alcune aree della parte alta dell'unità, laddove essa è ricoperta da unità successive e quindi non affiora, sono visibili alcuni riflettori spazati tra loro, meno concentrati rispetto a quelli dell'unità sovrastante *TST*; essi evidenziano un corpo sedimentario poco stratificato (Fig 30) con presenza di pieghe blande o ad assetto sub-orizzontale.

Il limite inferiore non è individuabile, mentre il limite superiore coincide a luoghi con il limite inferiore del deposito palinsesto ( $m_9$ ) e dei corpi litoidi organoigeni ( $g_{13}$ ), a luoghi con la superficie sismica principale ( $S_1$ ), messa in evidenza anche dall'appoggio in *onlap* o in *downlap* dei riflettori dell'unità *TST*. In casi più limitati, il limite superiore coincide con la base dell'unità *HST* (Fig. 29).

Questa unità è attribuibile al pre-MIS 2 (pre-Würm superiore, *sensu* OROMBELLI *et alii*, 2005) in base a quanto pubblicato da DE SANTIS & CALDARA (2016).

L'unità *PW* è stata oggetto di estesa erosione sub-aerea e mostra tre incisioni fluviali (bassi morfologici 1, 2 e 3) formatesi durante l'esposizione subaerea della piattaforma nel MIS 2 (DE SANTIS & CALDARA, 2016); in particolare, il basso morfologico 1 è particolarmente visibile per la forte immersione delle scarpate laterali che lo delimitano e per i sedimenti di riempimento corrispondenti alle unità *TST* e *HST*.

## 2.2. - UNITÀ DEL MIS 1

Sotto questa voce sono stati raggruppati tutti i terreni presenti al di sopra della superficie sismica principale ( $S_1$ ) e attribuiti al MIS 1 da DE SANTIS & CALDARA (2016). Questi terreni sono stati suddivisi in due sub-unità per la presenza di una

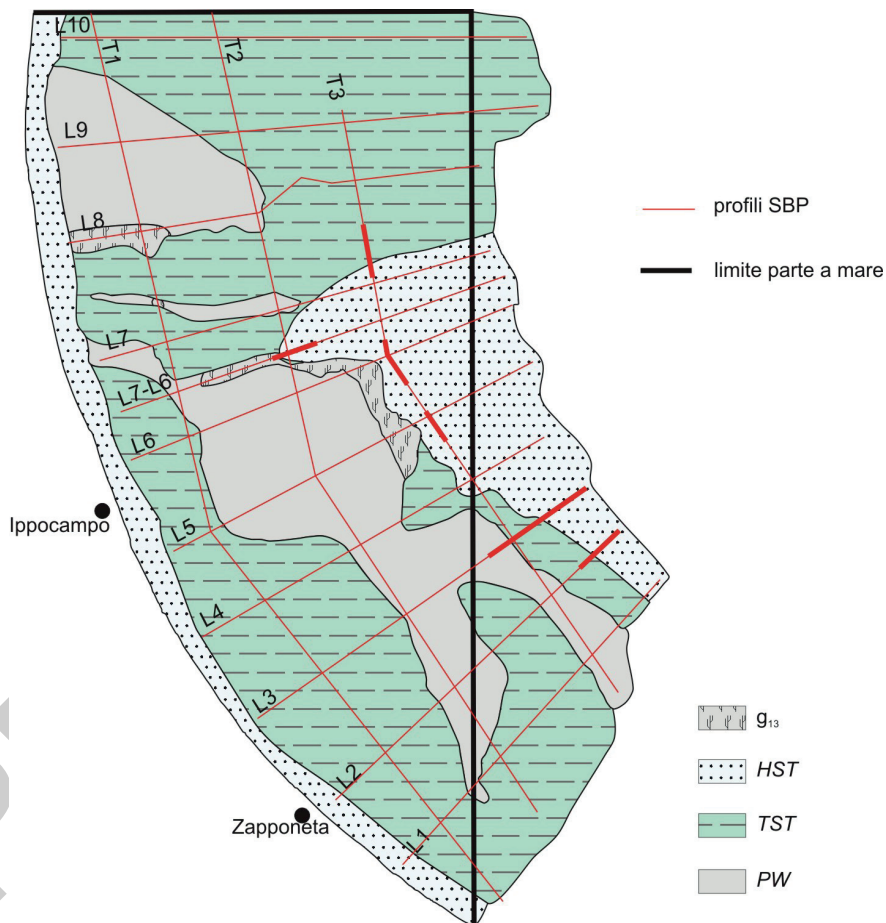


Fig. 28 - Unità sismostratigrafiche. Sono state riportate le unità come individuate esclusivamente dall'indagine SBP; questa carta quindi non riporta la parte più superficiale di HST (cfr. cap. IV par. 7, unità  $g_{8'} g_{13'}$ )

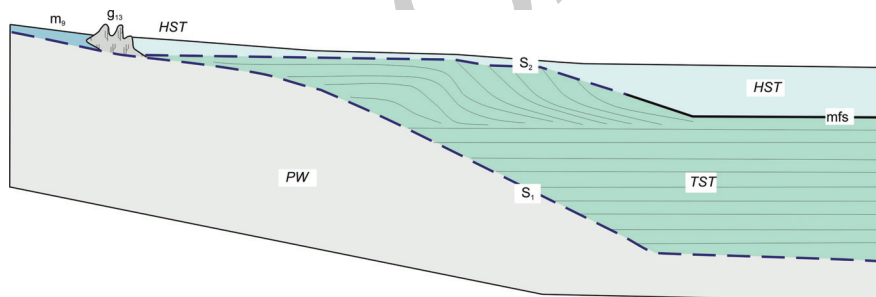


Fig. 29 - Schema dei rapporti stratigrafici fra le unità sismostratigrafiche del Foglio 409.

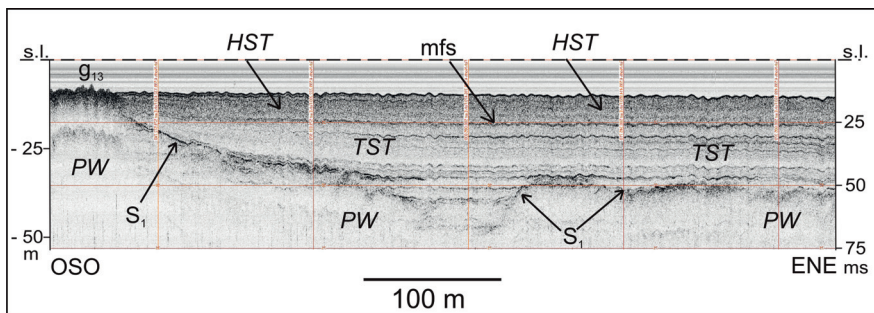


Fig. 30 - Particolare della superficie sismica principale ( $S_1$ ) e del basso morfologico 1, nel punto in cui si approfondisce maggiormente (circa 37 metri sotto il fondo del mare), intercettato nella parte centrale del profilo L7-L6. Si notano i depositi di riempimento delle unità TST e HST. In questa zona il limite tra TST e HST è costituito dalla maximum flooding surface (mfs) ed è quindi in continuità di sedimentazione. Si noti la diversa facies sismica tra TST (ricca di riflettori) e HST (dall'aspetto più uniforme) e l'appoggio in onlap su  $S_1$  dei riflettori dell'unità TST. Da notare anche, sull'orlo del basso morfologico, verso SO, la facies sismica interpretata come concrezioni di coralligeno ( $g_{13}$ ). Da: DE SANTIS & CALDARA, 2016.

superficie sismica secondaria ( $S_2$ ; Figg. 29, 30, 31). Come già detto, le due unità sono state denominate, dalla più antica alla più recente: *systems tract* trasgressivo (TST) e *systems tract* di alto stazionamento del l.m. (HST). Esse riempiono i bassi morfologici individuati dalla superficie  $S_1$  (Figg. 28 e 29) fino in qualche caso a superarne le soglie, livellando così il profilo del fondale e portandolo alla sua

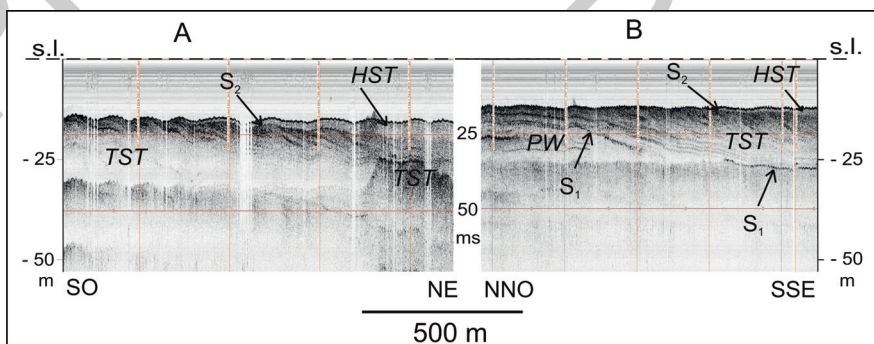


Fig. 31 - Particolare della superficie sismica principale ( $S_1$ ) che separa l'unità PW (pre-MIS12) dalle unità TST e HST, risalenti al MIS 1. Nell'esempio qui raffigurato il limite tra TST e HST è per continuità di sedimentazione e le due unità si distinguono per la diversa concentrazione dei riflettori, maggiore in TST, minore in HST. Si notino anche i pochi riflettori distanziati dell'unità PW e l'onlap formato dai riflettori di TST su  $S_1$ . Estremo NE del profilo L2 (A); parte N del profilo T3. Da: DE SANTIS & CALDARA, 2016.

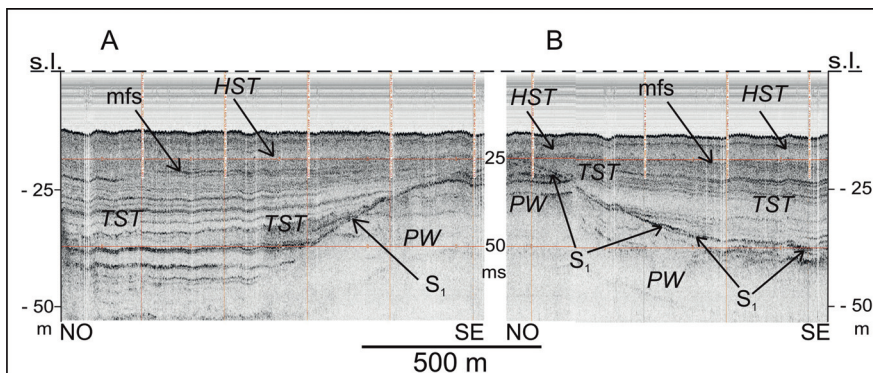


Fig. 32 - Particolare della superficie sismica secondaria ( $S_2$ ) che tronca i clinoforni della parte alta dell'unità TST. Parte centrale del profilo T3. Da: DE SANTIS & CALDARA, 2016.

attuale configurazione. In particolare l'unità TST costituisce la maggior parte del riempimento dei tre bassi morfologici, mentre l'unità HST si è depositata dopo il riempimento quasi totale avvenuto ad opera dell'unità TST.

A queste due unità si aggiungono dei corpi litoidi visibili nei profili sismici ed interpretati come concrezioni di coralligeno ( $g_{13}$ ), e il deposito palinestoso ( $m_9$ ), riconosciuto soprattutto sulla base dei campionamenti del fondo (cfr. cap. IV par. 7).

### 2.2.1. - System Tract Trasgressivo (TST)

Questa unità rappresenta la maggior parte del riempimento dei bassi morfologici definiti dalla superficie  $S_1$ .

Il segnale sismico è caratterizzato da una riflettività moderato - elevata. La penetrazione del segnale supera i 50 ms.

I riflettori interni all'unità si presentano ben evidenti e continui, con assetto piano parallelo nella parte inferiore (Figg. 29 e 30) e cliniforme - sigmoide in quella superiore (Fig. 32 e 33).

Il limite inferiore è costituito dalla superficie sismica principale ( $S_1$ ), che mette l'unità in contatto con la sottostante unità PW; la giacitura di TST su PW si rende evidente nei profili sismici attraverso due diverse geometrie:

- la parte stratigraficamente più bassa di TST, caratterizzata da riflettori piano-paralleli, poggia in *onlap* sulla  $S_1$ ;
- la parte stratigraficamente più alta, caratterizzata da clinoforni-sigmoidi, mostra un *downlap* alla base di questi ultimi, sempre sulla superficie  $S_1$ .

Il limite superiore si presenta come una troncatura erosiva dei clinoforni (superficie  $S_2$ ); tale superficie erosiva coincide a luoghi col fondale e a luoghi con il limite inferiore dell'unità HST. La superficie  $S_2$ , come già accennato, non

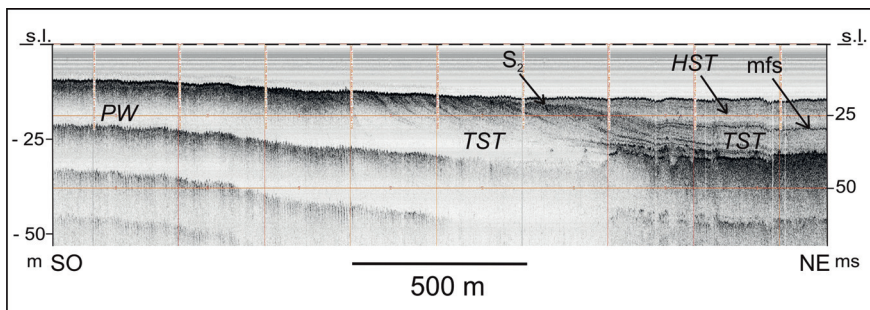


Fig. 33 - Particolare della superficie sismica secondaria ( $S_2$ ) che tronca i clinoforni della parte alta dell'unità *TST*. Si nota il passaggio del limite tra *TST* e *HST* da erosivo verso *SO*, a continuità di sedimentazione verso *NE*. Estremo *NE* del profilo *L3*. Da: DE SANTIS & CALDARA, 2016.

ha la stessa continuità della  $S_1$ : essa infatti è visibile a tetto dell'unità *TST* solo dove quest'ultima diminuisce di spessore verso i bordi dei bassi morfologici che riempie, mentre tende a scomparire verso il loro centro, dove passa gradualmente ad un limite conforme (Fig. 33).

Questo suggerisce che il limite tra *TST* e *HST* è erosivo all'altezza delle soglie che separano i bassi morfologici e in continuità di sedimentazione nelle zone centrali, dove coincide con la *maximum flooding surface* (*mfs*). Questa superficie, è stata individuata in Adriatico come il limite superiore dell'unità *TST* (CATTANEO *et alii*, 2003; CORREGGIARI *et alii*, 2001; MASELLI & TRINCARDI, 2013; TRINCARDI *et alii*, 1996) e segna il tempo del massimo spostamento verso terra della linea di riva (circa 5.5 ka BP).

All'interno dell'unità *TST* sono state individuate diffuse irregolarità e/o scomparsa di riflettori forse imputabili alla presenza di zone a gas impregnate i sedimenti.

L'unità *TST* corrisponde ad un corpo fortemente stratificato costituito da un'alternanza di sedimenti medio-fini e presenza probabile di eventi grossolani; si tratta verosimilmente di un deposito di riempimento di canale e, in parte, di ambiente deltizio.

L'unità *TST* è stata interpretata come il risultato di una sedimentazione avvenuta in due fasi.

La prima è avvenuta durante la risalita del livello del mare successiva all'Ultimo Massimo Glaciale (*LGM*; *sensu* OROMBELLI *et alii*, 2005): a questa fase appartengono le geometrie tipo *onlap* che caratterizzano la parte bassa e media dell'unità (Figg. 30, 31, 32), che indicano una pattern sedimentario aggradazionale, tipico di una fase trasgressiva (CATUNEANU, 2002).

La seconda fase è caratterizzata da clinoforni-sigmoidi che indicano invece



una situazione in cui il tasso di crescita dello spazio di accomodamento diviene più basso del tasso di sedimentazione, portando così ad un riempimento progradante.

### 2.2.2 - *System Tract di alto stazionamento del l.m. (HST)*

Questa unità giace sopra la superficie  $S_2$  e la corrispondente superficie conforme (mfs); essa ricopre, con spessori esigui, tutto il fondale ad esclusione delle aree di affioramento delle unità  $m_9$  e  $g_{13}$ ; spessori maggiori, risolvibili sismicamente, si raggiungono sottocosta e nelle aree centrali dei bassi morfologici (Fig. 28). In questi ultimi l'unità assume una geometria lenticolare, in quanto ha occupato le depressioni residuali non del tutto riempite dall'unità *TST*.

Il segnale sismico è caratterizzato da una bassa ed uniforme riflettività; le poche riflessioni presenti sono generalmente discontinue, di media ampiezza.

Il limite superiore coincide con il fondale mentre quello inferiore corrisponde alla superficie erosiva  $S_2$  e, nelle aree centrali dei bassi morfologici, è in continuità di sedimentazione con la sottostante unità *TST* e coincide con la *maximum flooding surface* (mfs; CATTANEO *et alii*, 2003; CORREGGIARI *et alii*, 2001; MASELLI & TRINCARDI, 2013; TRINCARDI *et alii*, 1996).

Il segnale ha una penetrazione massima intorno gli 8 ms.

La parte sommersa dell'unità *HST* corrisponde ad un corpo omogeneo scarsamente stratificato o con spessori sottili non risolvibili al profilo sismico; è formato da sedimenti prevalentemente fini, corrispondenti, sul fondale, ad argilla con limo e limo con argilla (Tab. VII).

### 2.3. - CORPI LITOIDI ORGANOGENI ( $g_{13}$ )

L'indagine SBP ha evidenziato la presenza di una facies sismica la cui distribuzione è limitata a due aree poste in corrispondenza di quelle che un tempo erano le soglie del basso morfologico 1 (Fig. 30).

Tale facies sismica è caratterizzata da una riflettività forte e continua e assenza di riflettori interni. La penetrazione del segnale è nulla.

La geometria dei corpi appare tendenzialmente tabulare: il limite superiore ha un alto contrasto ed un andamento irregolare (Fig. 31), mentre il limite inferiore è sempre sfumato e quindi non definibile.

Le immagini SSS e la collocazione spaziale inducono a pensare che si tratti di corpi litoidi, probabilmente formati da concrezioni biogeniche, prodotte da fenomeni di cementazioni locali di alghe, briozoi, serpulidi e/o molluschi calcarei su sedimenti grossolani sciolti.

La presenza di queste concrezioni nel Golfo di Manfredonia è stata documentata da OELTSCNER E SIGL (1970) e SIGL (1973). Gli autori riportano un profilo di ecoscandaglio (vedi ad esempio OELTSCNER E SIGL, 1970, fig. 6) in cui una

struttura organica “*simil-reef*” è cresciuta fino a diversi metri di altezza su una vecchia superficie irregolare sepolta. A sinistra e a destra del “*reef*” emergente si possono scorgere vecchi rilievi di altezza inferiore quasi raggiunti o sepolti dalla deposizione di sedimenti recenti orizzontali.

La situazione descritta da OELTSCNHER & SIGL (1970) e SIGL (1973) è compatibile con quella dei nostri profili sismici, dove il coralligeno appare basato sulla superficie  $S_1$  e parzialmente sepolto dall’unità *HST* più giovane.

Il tempo della formazione di questi corpi è ancora incerto; tuttavia, dai rapporti stratigrafici si può dedurre che le concrezioni di coralligeno cominciarono a formarsi dopo che il mare annegò gli alti morfologici formati quando la piattaforma continentale era emersa.

### 3. - INTERPRETAZIONE

La successione delle unità della parte a mare del Foglio 409 “Zapponeta” permette di ipotizzare uno schema evolutivo e una correlazione con le coeve unità a terra (DE SANTIS & CALDARA, 2016).

Fase a). Durante il MIS 2 si ha l’erosione della piattaforma continentale da parte dei torrenti che sfociano in Adriatico, creando così l’accentata superficie  $S_1$  che tronca l’unità *PW*, definendo alcuni bassi morfologici e soglie che li separano. Tale fase erosiva è proseguita fino all’evento Bølling-Allerød (DE SANTIS & CALDARA, 2016)

Fase b). La successiva risalita del livello del mare causa il riempimento di tutti i bassi morfologici da parte dell’unità *TST*, che va in trasgressione sul substrato con un *pattern* aggradazionale e quindi si poggia in *onlap* sulla  $S_1$ .

Fase c). Il tasso di crescita dello spazio di accomodamento diventa inferiore al tasso di sedimentazione, costringendo i sedimenti ad un riempimento non più aggradante, ma progradante. Tale situazione è dovuta alla combinazione tra un crescente rallentamento della risalita post-glaciale del livello del mare e un crescente apporto sedimentario. Questa combinazione di fattori si è verificata a partire da 8.5 ka BP. A partire da questa data infatti, inizia un crescente rallentamento della risalita del livello del mare (LAMBECK *et alii*, 2004, 2011; PELTIER & FAIRBRANKS, 2006) e si verifica il pieno stabilirsi delle condizioni che portarono alla formazione del Sapropel S1 nel Mediterraneo, la cui deposizione è messa in relazione ad un aumento degli apporti di acque dolci e di sedimenti fluviali. L’età di 8.5 ka BP può essere quindi considerata come quella del passaggio tra la parte medio-bassa di *TST* e quella alta. Questa fase culmina con la formazione della mfs al tetto dell’unità *TST*.

Fase d). Un abbassamento relativo del livello del mare o un mutamento delle condizioni meteo-marine causò l’erosione delle parti più alte del fondale, dove



affiorava l'unità pre-würmiana e/o la parte alta, a clinoformi, dell'unità *TST* e/o le prime fasi dell'unità *HST*; negli ultimi due casi ci fu la parziale erosione della mfs. Nelle parti più basse del fondale, corrispondenti grosso modo alle aree centrali di quelli che erano i tre bassi morfologici, a quest'epoca già quasi del tutto riempiti da *TST*, l'azione erosiva non si è risentita: di conseguenza la mfs è stata preservata e la sedimentazione tra *TST* e *HST* è stata continua.

Secondo quanto riportato in DE SANTIS & CALDARA (2016) si può concludere che l'unità *PW* corrisponda all'unità  $RPL_1$  a terra e che l'unità *TST* corrisponda all'unità *NAQ* a terra. La superficie erosiva principale  $S_1$  corrisponde, a terra, al limite tra le unità  $RPL_1$  e *NAQ*, riferito anch'esso al MIS 2 (DE SANTIS & CALDARA, 2016).

Riguardo l'origine della superficie  $S_2$ , al momento non si hanno dati sufficienti per propendere per l'una o l'altra delle due ipotesi precedentemente illustrate (erosione del fondale dovuta ad abbassamento momentaneo del livello del mare o a cambiamento delle condizioni meteo-marine), tuttavia un dato temporale abbastanza sicuro è che, poiché essa, nelle parti più alte del fondale, cancella la mfs, la sua formazione è successiva a 5.5 ka BP.

Riguardo la prima ipotesi, essa trova riscontro in MASTRONUZZI & SANSÒ (2002), SIMONE (2003), AURIEMMA *et alii* (2004), CALDARA & SIMONE (2005), BOENZI *et alii* (2006), PRIMAVERA *et alii* (2011). Tutti questi lavori, seppur non in perfetto accordo sui tempi, ipotizzano, un relativo abbassamento del livello del mare collocabile tra 4 e 2 ka BP. A tale relativo abbassamento fa seguito l'innalzamento che porta il livello del mare alla sua posizione attuale.

Riguardo la seconda ipotesi per l'origine della superficie  $S_2$ , si può ipotizzare che la sua formazione sia dovuta ad un evento paleoclimatico importante avvenuto dopo 5.5 ka, che può aver causato un cambiamento delle condizioni meteo-marine in Adriatico con conseguenti episodi erosivi del fondale. Tra questi, il più significativo è il cosiddetto "4.2 ka event" (MAGNY *et alii*, 2012; PEYRON *et alii*, 2013), che quindi può essere quello più probabile come eventuale responsabile della formazione della superficie  $S_2$  (DE SANTIS & CALDARA, 2016).

L'*HST* tardo olocenico individuato dalle indagini sismostratigrafiche è correlabile con quello già segnalato lungo le coste adriatiche italiane (CATTANEO *et alii*, 2003) ritenuto depositatosi a partire dallo stabilirsi dello stazionamento alto attuale del livello del mare, e quindi da 5.5 ka BP.

A questa età infatti risale la formazione, nell'offshore adriatico, della *maximum flooding surface* (mfs). Questa superficie è stata definita come il limite superiore dell'unità trasgressiva (CATTANEO *et alii*, 2003; CORREGGIARI *et alii*, 2001; MASELLI & TRINCARDI, 2013; TRINCARDI *et alii*, 1996) e segna il tempo del massimo spostamento verso terra della linea di riva e, quindi, il limite tra la fase trasgressiva e quella di stazionamento alto.

## VI - TETTONICA

### 1. - CONOSCENZE PRECEDENTI

L'area del Foglio 409 "Zapponeta" ricade quasi interamente in un settore di Avanfossa poco deformato compreso fra l'Appennino Dauno e l'avampaese Apulo-Garganico. Questo settore di Avanfossa presenta uno stile strutturale caratterizzato da scarsa deformazione tettonica, strati e contatti stratigrafici sub-orizzontali, ovvero disposti secondo l'originaria stratificazione.

Parte del lembo settentrionale del Foglio, invece, corrispondente alle prime propaggini del massiccio del Gargano, ricade nel dominio dell'avampaese apulo-garganico ed è caratterizzato da intensa tettonica distensiva e trascorrente.

Secondo recenti modelli geodinamici, l'Avanfossa Bradanica esprime l'effetto della subsidenza flessurale dell'avampaese apulo dovuta alla subduzione verso ovest della litosfera adriatico-ionica (MALINVERNO & RYAN, 1986; ROYDEN *et alii*, 1987; DOGLIONI, 1991; PATACCA & SCANDONE, 2001a).

Si precisa che in questo paragrafo i riferimenti cronologici sono quelli riportati a suo tempo dagli Autori e non coincidono con la più recente suddivisione cronostatigrafica del Quaternario (GIBBARD *et alii*, 2010; FINNEY, 2010).

I primi studi sistematici sulla tettonica dell'area ricadente nel Foglio 409 "Zapponeta" risalgono alla fine degli anni '70 - inizio anni '80, con il Progetto Finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto Neotettonica. Nell'ambito di questo

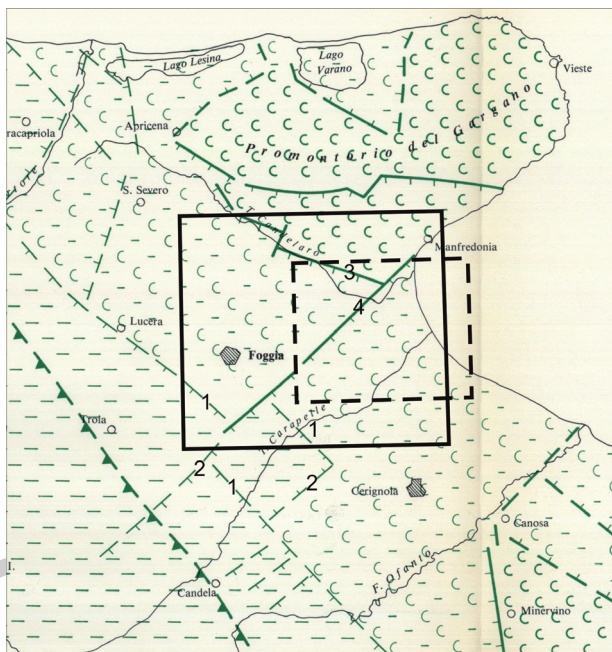


Fig. 34 - Carta neotettonica dell'Italia meridionale (CIARANFI et alii, 1983): elementi lineari ed areali durante l'intervallo II. La linea nera continua rappresenta il limite del Foglio 164 "Foggia" alla scala 1:100.000. La linea nera tratteggiata rappresenta il limite del Foglio 409 "Zapponeta" alla scala 1:50.000.

progetto, sono state pubblicate, nel 1980, le Osservazioni preliminari sulla neotettonica dei fogli 164 "Foggia", 165 "Trinitapoli" e 175 "Cerignola" (CIARANFI et alii, 1980) a cui ha fatto seguito la "Carta neotettonica dell'Italia meridionale alla scala 1:250.000" (CIARANFI et alii, 1983).

In questi due lavori gli Autori individuavano tre intervalli temporali:

- l'intervallo II, relativo al Pliocene inferiore.
- l'intervallo III, che è stato suddiviso in due sottointervalli. Il primo, denominato IIIa, va dal limite Pliocene inferiore-medio fino al limite Plio-Pleistocene. Il secondo sottointervallo, denominato IIIb, coincide con il Pleistocene inferiore.
- l'intervallo IV/V, che va dal Pleistocene medio ad oggi.

Durante l'intervallo II il basamento carbonatico mesozoico subì uno sbloccamento e conseguente ribassamento nel settore sud-occidentale del Foglio 164 "Foggia" come dimostra la presenza, nel sottosuolo di quest'area, di sedimenti marini databili al Pliocene inferiore, trasgressivi sul basamento carbonatico sepolto; tale movimento fu determinato da una serie di faglie dirette a direzione

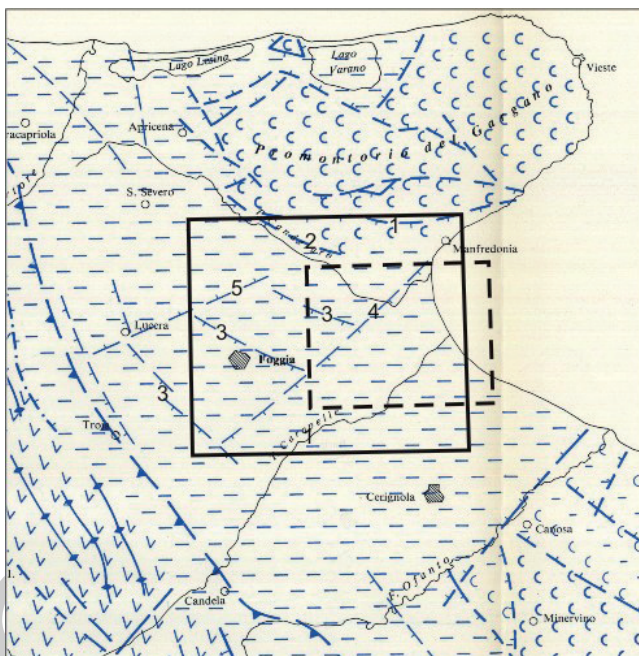


Fig. 35 - Carta neotettonica dell'Italia meridionale (CIARANFI *et alii*, 1983): elementi lineari ed areali durante l'intervallo IIIa. La linea nera continua rappresenta il limite del Foglio 164 "Foggia" alla scala 1:100.000. La linea nera tratteggiata rappresenta il limite del Foglio 409 "Zapponeta" alla scala 1:50.000.

appenninica (NO-SE; contrassegnate con il numero 1 in Fig. 34), dislocate a loro volta da un sistema di faglie dirette antiappenniniche (SO-NE; contrassegnate con il numero 2 in Fig. 34). Contemporaneamente, si ebbe l'attivazione di altre due faglie dirette: la faglia di "Santa Lucia" orientata NO-SE e contrassegnata con il numero 3 in Fig. 34, e la faglia di "Manfredonia" (RICCHETTI *et alii*, 1992), orientata SO-NE e contrassegnata con il numero 4 in Fig. 34. Queste ultime sono riportate solo in Ciaranfi *et alii* (1983); secondo gli Autori le aree poste a nord di queste due strutture rimasero stabili o subirono un relativo sollevamento; quelle a sud variarono dalla stabilità alla leggera subsidenza.

Nell'intervallo IIIa, la parte più elevata del promontorio garganico fu interessata da sollevamento, mentre tutta la restante parte del Foglio 164 "Foggia", nonché tutta l'area del Foglio 165 "Trinitapoli", subì una fase di marcata subsidenza, durante la quale si ebbe una generale ingressione marina e la sedimentazione dapprima delle unità di apertura del ciclo della Fossa Bradanica (Calcarenite di Gravina) e successivamente delle argille subappennine (CIARANFI *et alii*, 1980; 1983).

In questa fase, furono attive diverse faglie dirette. La faglia Rignano-Manfredonia

(CREMONINI *et alii*, 1971, la n. 1 in Fig. 35) e la faglia del Candelaro (MONGELLI & RICCHETTI, 1970; la n. 2 in Fig. 35), orientate rispettivamente E-O e NO-SE, delimitarono grosso modo le aree in sollevamento a nord da quelle in subsidenza a sud.

Le faglie del Tavoliere orientate NO-SE (contrassegnate col numero 3 in Fig. 35) furono le responsabili della subsidenza che interessò quest'area durante l'intervallo IIIa; riguardo ad esse, CIARANFI *et alii* (1980) ne individuano diverse, immergenti alternativamente a NE ed a SO, che creano un assetto ad *horst* e *graben* nei calcari; Ciaranfi *et alii* (1983) ne riportano solo tre, tutte immergenti verso SO.

Infine, furono attive anche faglie del Tavoliere orientate SO-NE, anch'esse responsabili della subsidenza: la faglia di "Manfredonia" (la n. 4 in Fig. 35), che continuò la sua attività già iniziata nell'intervallo II, e la faglia di "Lucera" (la n. 5 in Fig. 35); a queste si aggiunge una terza faglia, riportata solo in CIARANFI *et alii* (1980), che sembra coincidere con la faglia sepolta "del Carapelle", individuata nel presente lavoro e descritta in seguito.

Secondo gli Autori, tutte le faglie attive nell'intervallo IIIa dislocarono il basamento carbonatico ed i depositi del Pliocene inferiore risalenti all'intervallo II (ove presenti).

Durante l'intervallo IIIb, ad una prima fase di subsidenza, fece seguito una fase di moderato sollevamento, che interessò quasi tutta l'area dei fogli 164 "Foggia" e 165 "Trinitapoli"; durante tale sollevamento si depositarono le unità regressive della Fossa Bradanica, rappresentate dalle sabbie di Monte Marano e dal conglomerato di Irsina. La fase finale dell'intervallo IIIb condusse all'emersione di gran parte dell'area considerata, ad esclusione forse delle aree corrispondenti all'entroterra del Golfo di Manfredonia, dove è stata riconosciuta l'esistenza di depositi marini terrazzati riferibili al Pleistocene medio e superiore ("*sabbie giallastre con fauna litorale*"; sigla: Qm<sub>2</sub>, riportata nel Foglio 164 "Foggia"). In questo intervallo furono attive le stesse faglie dirette individuate nell'intervallo IIIa, con l'eccezione di alcune strutture ad orientazione NO-SE che si crearono in area garganica (contrassegnate con il numero 1 in Fig. 36), in un caso come prolungamento di una struttura preesistente.

Nell'intervallo IV/V si sviluppò un generale sollevamento, più accentuato nelle aree garganiche rispetto alla zona in cui si era sedimentato il ciclo della Fossa Bradanica. Durante questa fase di sollevamento, CIARANFI *et alii* (1983) riportano come attive le seguenti faglie dirette: la faglia Rignano-Monte Sant' Angelo (la n. 1 di Fig. 37), il tratto più settentrionale della faglia di "Manfredonia" (la n. 2 di Fig. 37), la faglia "del Carapelle" (la n. 3 di Fig. 37) e la faglia "del Candelaro" (la n. 4 di Fig. 37), che corre grosso modo lungo il corso del torrente omonimo, nel tratto in cui esso è orientato da NO a SE.

In CIARANFI *et alii* (1980), sempre per l'intervallo IV/V, vengono riportati tre sistemi di faglie dirette: il primo ed il secondo sistema, costituiti rispettivamente da



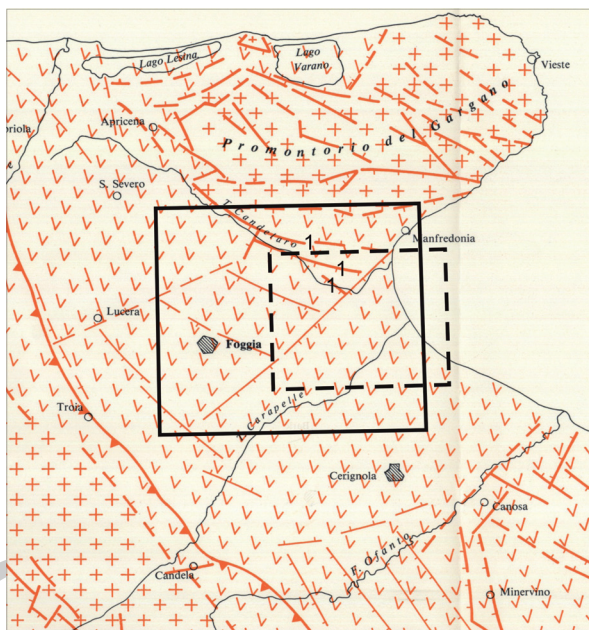


Fig. 36 - Carta neotettonica dell'Italia meridionale (CIARANFI *et alii*, 1983): elementi lineari ed areali durante l'intervallo IIIb. La linea nera continua rappresenta il limite del Foglio 164 "Foggia" alla scala 1:100.000. La linea nera tratteggiata rappresenta il limite del Foglio 409 "Zapponeta" alla scala 1:50.000.

faglie orientate SO-NE e NO-SE, interessarono i sedimenti dell'avanfossa. Il terzo sistema, costituito da faglie dirette orientate generalmente NO-SE o E-O, ribassò a gradinata verso S i calcari del promontorio del Gargano.

Successivamente, i dati pubblicati in CIARANFI *et alii* (1980; 1983) sono confluiti nella "Neotectonic map of Italy" (AMBROSETTI *et alii*, 1983). In questa carta (Fig. 38), l'intorno del Foglio 409 "Zapponeta" ricade in tre zonazioni: area garganica (4a), area pedegarganica (4b) e Tavoliere (5f). L'area garganica viene descritta come "stabile o in sollevamento nel Pliocene e nel Quaternario". L'area pedegarganica viene descritta come "stabile o in sollevamento a partire dal Pliocene medio, in abbassamento nel Pleistocene inferiore ed in sollevamento dal Pleistocene medio". Infine, l'area del Tavoliere viene descritta come "in pressoché continuo e moderato abbassamento nel Pliocene e Pleistocene inferiore, stabile o in moderato sollevamento a partire dal Pleistocene medio".

Secondo studi strutturali e stratigrafici più recenti, nell'area del Gargano possono essere distinte: una fase tettonica distensiva supracretacica (CHILOVI *et alii*, 2000; MORSILLI *et alii*, 2002), una fase tettonica distensiva del Miocene-Pliocene inferiore, coeva con le fasi più importanti dell'orogenesi appenninica (CHILOVI *et*

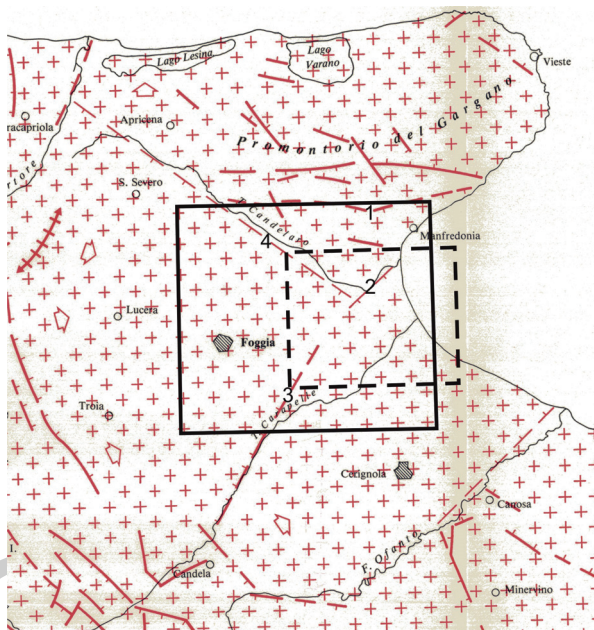


Fig. 37 - Carta neotettonica dell'Italia meridionale (CIARANFI et alii, 1983): elementi lineari ed areali durante l'intervallo IV-V. La linea nera continua rappresenta il limite del Foglio 164 "Foggia" alla scala 1:100.000. La linea nera tratteggiata rappresenta il limite del Foglio 409 "Zapponeta" alla scala 1:50.000.

alii, 2000) ed un'ultima fase tettonica, sempre distensiva, ascrivibile all'intervallo Pliocene medio-Pleistocene superiore. In particolare, quest'ultima fase tettonica si sarebbe verificata in due intervalli separati (SPALLUTO & MORETTI, 2006): un primo intervallo, ascrivibile al Pliocene medio-Pleistocene inferiore, sarebbe connesso alla fase di subsidenza dell'avampaese apulo e di approfondimento della Fossa Bradanica; un secondo intervallo, ascrivibile al Pleistocene medio e superiore, sarebbe invece connesso alla fase di sollevamento tettonico dell'avampaese apulo e della Fossa Bradanica (DOGLIONI, 1991).

Le strutture tettoniche attive nell'intervallo Pliocene medio-Pleistocene inferiore sono le più comuni: nell'area del vicino Foglio 396 "San Severo", si segnalano infatti (SPALLUTO & MORETTI, 2006), alcune faglie dirette ad attività sinsedimentaria alla deposizione della Calcarenite di Gravina (GRA, ritenuta dagli Autori del Pliocene medio-superiore). Esse delimitano piccoli semigraben (qualche decina di metri in ampiezza) che tagliano calcari miocenici e presentano chiare strutture di "crescita" nella Calcarenite di Gravina (pieghe per propagazione di faglia). A luoghi, in corrispondenza di tali faglie, si osservano anche blocchi di





Fig. 38 - Stralcio dell'area garganica e del Tavoliere con i limiti del Foglio 409 "Zapponeta" (in nero) (da: Neotectonic map of Italy, AMBROSETTI et alii, 1983)..

calcarei miocenici franati all'interno della Calcarenite di Gravina, che probabilmente indicano la presenza di fessure instabili proprio lungo tali strutture tettoniche. L'attività sinsedimentaria di tali semigraben è testimoniata dal brusco aumento di spessore delle calcareniti plioceniche in corrispondenza delle faglie stesse (SPALLUTO & MORETTI, 2006). Tali faglie sono suturate dai depositi marini del Pleistocene medio che si rinvergono in *pinch-out* sia sulla Calcarenite di Gravina che sui calcarei miocenici.

Più raramente visibili sono le strutture tettoniche attive nell'intervallo Pleistocene medio-superiore, a causa della mancanza di estesi affioramenti dei depositi relativi a questo periodo; tuttavia, nella zona di Apricena, sono state segnalate faglie dirette che dislocano depositi del Pleistocene medio (SPALLUTO & MORETTI, 2006).

Riguardo le strutture sepolte del Tavoliere, di notevole importanza è il lavoro condotto da PATACCA & SCANDONE (2001b) per conto dell'ENEA e finalizzato all'individuazione di strutture sismogenetiche nell'area del Tavoliere.

Gli Autori, dall'analisi di profili sismici che interessano il Tavoliere, individuano 4 corpi sedimentari principali, utilizzati come indicatori dell'attività delle faglie:

- 1) Cuneo clastico sabbioso-argilloso pre-rampa (Pliocene medio-superiore);
- 2) Cuneo clastico sabbioso-argilloso sin-rampa (Pleistocene inferiore);
- 3) Sistema argilloso (e subordinatamente argilloso-sabbioso) trasgressivo.

Questo è stato datato al Pleistocene inferiore, e specificatamente all'intervallo compreso fra 1,25 e 0,92 milioni di anni; esso marca la disattivazione della rampa frontale dell'alloctono. In affioramento, tale corpo è rappresentato dalla Calcarenite di Gravina;

4) Sistema argilloso-sabbioso progradante. Questo è stato datato al Pleistocene inferiore-medio, e specificatamente all'intervallo 0,92-0,66 Ma. In affioramento, tale corpo è rappresentato dalle argille subappennine e dai successivi depositi regressivi delle sabbie di Monte Marano e del conglomerato di Irsina.

Le faglie sepolte del Tavoliere descritte da PATACCA & SCANDONE (2001b) interessano il substrato carbonatico mesozoico; esse sembrano mostrare una cinematica di tipo diretto e/o trascorrente, com'è confermato dai numerosi affioramenti presenti nelle zone delle Murge e del Gargano prossime all'area del Foglio, e sono raggruppabili in due principali domini azimutali:

1) dominio NO-SE, con valori di direzione dei piani di faglia compresi tra N120 e N150; queste faglie dislocano il substrato carbonatico con ribassamenti sia verso SO sia verso NE;

2) dominio O-E; queste faglie hanno valori di direzione variabili tra N90 e N100 e dislocano il substrato carbonatico con ribassamenti prevalentemente verso N.

Le faglie NO-SE più vicine al fronte dell'alloctono appaiono come faglie dirette che dislocano il basamento mesozoico, deformano il cuneo pre-rampa ma sono poi sature dai depositi del cuneo sin-rampa. Questo indica che la loro attività non è andata oltre il limite Pliocene-Pleistocene. Spostandosi verso la rampa di Avampaese, le faglie NO-SE appaiono ancora indiscutibilmente sature dai depositi pleistocenici del cuneo sin-rampa.

Esistono tuttavia faglie con indizi di attività in tempi certamente successivi alla deposizione del sistema trasgressivo del Pleistocene inferiore: ciò è dimostrato dalla presenza di una flessura più o meno pronunciata del forte riflettore che costituisce la base del sistema trasgressivo, senza che ci sia tuttavia alcuna traccia di dislocazioni lungo tale riflettore. Le deformazioni osservate sono però tutte sature dai depositi del sistema progradante del Pleistocene medio-superiore.

A qualche chilometro di distanza dalla città di Foggia, tuttavia, è stata osservata una faglia diretta con direzione N130 ed immersione verso SO che disloca anche i depositi del sistema progradante (argille subappennine) fino ad interessare le sabbie di regressione che ne costituiscono la parte superiore. Tale struttura, che prosegue verso SE fino a lambire la città di Cerignola, è stata individuata come la

possibile responsabile del terremoto che colpì il Tavoliere il 20 marzo 1731 (faglia Foggia-Cerignola in PATACCA & SCANDONE, 2001b, CALDARA *et alii*, 2011).

Per quanto riguarda il sistema di faglie orientato O-E, sono state riconosciute tre faglie principali la cui traccia in superficie segue grossolanamente gli allineamenti Troia-Carapelle, Monte Calvello-Orta Nova e Castelluccio dei Sauri-Stornarella. Tutte e tre queste faglie si sono formate precedentemente alla deposizione del sistema trasgressivo, ma mostrano evidenze di riattivazione successiva in quanto determinano una flessurazione più o meno marcata anche nei soprastanti depositi medio-suprapleistocenici del sistema progradante. In particolare, la faglia Castelluccio dei Sauri-Stornarella fa vedere una flessura molto pronunciata nell'intera successione pleistocenica; pertanto, essa può essere considerata come l'unica faglia del sistema O-E che mostra chiari indizi di attività in tempi recenti (PATACCA & SCANDONE, 2001b).

## 2. - LE STRUTTURE DI SUPERFICIE

Le strutture affioranti nel Foglio 409 “Zapponeta” si rinvencono esclusivamente in corrispondenza delle propaggini meridionali del massiccio del Gargano.

Sono stati individuati due sistemi principali di faglie:

1) il primo sistema è costituito da faglie orientate NO-SE, con immersione a NE (Figg. 39 e 40); l'analisi delle strie e dei gradini presenti sugli specchi di faglia di questo sistema mostra in alcuni casi un movimento sub-verticale (faglie dirette), in altri un movimento orizzontale (faglie trascorrenti, Fig. 41), in altri ancora un movimento in cui sono presenti entrambe le componenti (faglie transtensive).

2) il secondo sistema è costituito da faglie orientate NO-SE, con immersione a SO; l'analisi delle strie e dei gradini presenti sugli specchi di faglia di questo sistema mostra in grande prevalenza un movimento orizzontale (faglie trascorrenti).

Le faglie dirette generano un tipico assetto ad *horst* e *graben*. All'interno delle depressioni si conservano ancora significativi spessori di calcareniti plioceniche (Calcarenite di Gravina, GRA). I rigetti stimati sono dell'ordine delle decine di metri; in alcuni casi, sui blocchi ribassati, sono state osservate uncinature nei calcari, che tendono a disporsi con i piani di strato paralleli al piano di faglia (Fig. 40).

I movimenti trascorrenti sono evidenziati dalla presenza di gradini e strie suborizzontali di faglia, che sembrano indicare un movimento sinistro (Figg. 41 e 42).

Non di rado si osservano piani di faglia coniugati, alcuni con evidenze di movimenti verticali, altri con evidenze di movimenti orizzontali; in altri casi, questi ultimi sembrano obliterare i precedenti.

I piani di faglia, soprattutto nel caso delle faglie dirette, si presentano spesso beanti e riempiti di materiali quali terra rossa e pisoliti bauxitiche.

Le tracce in superficie delle faglie affioranti nella zona garganica del Foglio 409 “Zapponeta” sono spesso segnate dalla presenza di solchi erosivi.



Fig. 39 - *Faglie dirette affioranti nella Cava De Bellis, in località Resecata.*



Fig. 40 - *Faglia diretta affiorante nella Cava De Bellis, in località Resecata; il blocco ribassato, a sinistra, mostra un'uncinatura verso l'alto degli strati di calcare.*

Per quel che riguarda l'età di queste strutture, i dati attualmente in possesso sono solo quelli di letteratura (CHILOVI *et alii*, 2000; MORSILLI *et alii*, 2002; SPALLUTO & MORETTI, 2006).





Fig. 41 - Specchio di una faglia N0-SE con immersione SO caratterizzato da strie suborizzontali, indicative di una componente trascorrente del movimento.

### 3. - LE STRUTTURE DI SOTTOSUOLO

Le strutture di sottosuolo (sepolte) sono state individuate essenzialmente grazie a dati di perforazione, a rilievi di sismica a riflessione o rifrazione condotti lungo profili di lunghezza dell'ordine delle centinaia di metri (cfr. par. 4.3.1 e 4.3.2), e a dati di letteratura.

Per quel che riguarda le perforazioni, si sono rivelate utili:

- 1) perforazioni che intercettano il top dei calcari sepolti: C194, C196, C197, C198, C369, C176, MC1, LS12FG, Pn6, DP14, DP13, "Zapponeta";
- 2) perforazioni che, pur non intercettando il tetto dei calcari, si spingono a profondità maggiori rispetto alla posizione riconosciuta del substrato mesozoico nelle aree limitrofe: C169, G531, In402, E202, C190, G1533, C116, G1524, DP15, C301 (Fig. 43).

Per quel che riguarda le indagini sismiche, esse hanno permesso di ricavare la quota s.l.m. del tetto dei calcari mesozoici in 8 punti di indagine svolta in occasione del rilevamento del presente Foglio, a cui si aggiungono altri tre punti i cui dati sono stati raccolti in anni precedenti (Fig. 44).

I dislivelli nel tetto dei calcari, messi in evidenza dalle perforazioni e dalla sismica, sono stati considerati come indizi della presenza di faglie, anche se un certo grado di incertezza non è evitabile. Infatti, un dislivello della quota del tetto dei calcari sepolti, tra due perforazioni vicine, potrebbe essere dovuto alla presenza di una o più faglie, come pure all'esistenza di una scarpata di terrazzo. Per questo



Fig. 42 - Cava De Bellis, in località Resecata: strie di faglia che indicano una componente trascorrente sinistra del movimento.

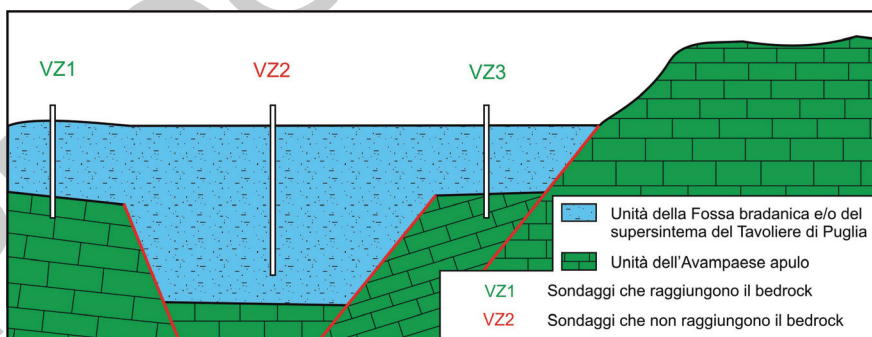


Fig. 43 - Schema semplificato dell'utilizzo delle perforazioni per il riconoscimento di strutture sepolte.

motivo è stata sempre ipotizzata, tra due punti che mostrano un notevole dislivello nella quota s.l.m. del tetto dei calcari mesozoici, la presenza di almeno una faglia.

Tuttavia, l'interpretazione delle differenti quote del tetto dei calcari sepolti non può non tenere conto di quanto si osserva nelle aree in cui gli stessi calcari affiorano: il Gargano e le Murge. In queste aree infatti, dislivelli paragonabili a quelli individuati nei pozzi sono da attribuire sovente a faglie dirette, che creano nei calcari una struttura a gradinata e/o un assetto ad *horst* e *graben*.

Infine, per i dati di letteratura, si è fatto riferimento alla carta delle anomalie gravimetriche dell'AGIP (1986) contenuta nel Rapporto Finale dell'istanza di permesso



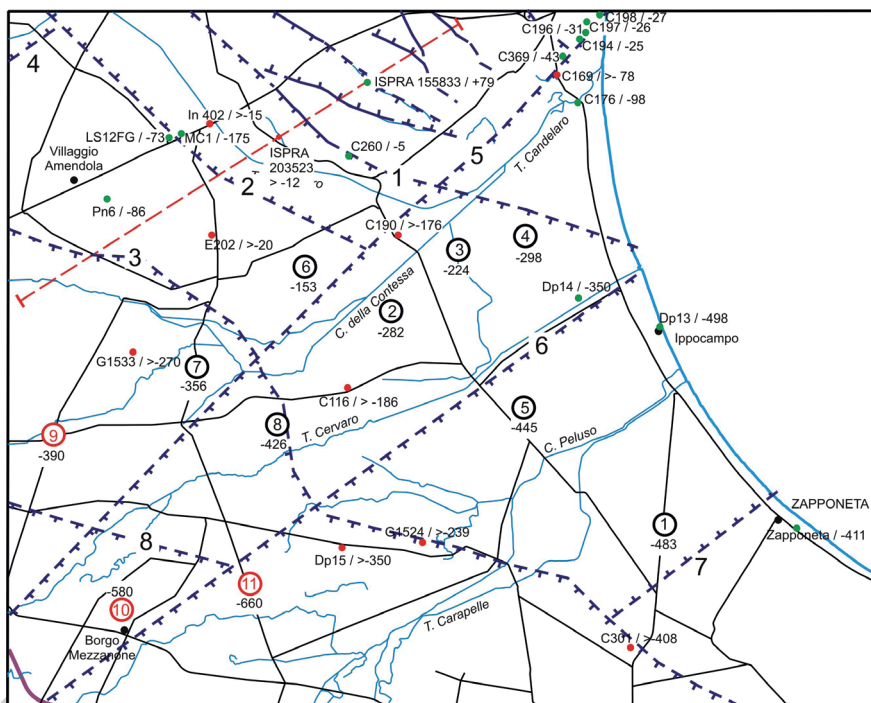


Fig. 44 - Schema tettonico del Foglio 409 "Zapponeta". Le linee continue blu indicano faglie certe, quelle tratteggiate le faglie incerte o sepolte; i trattini indicano le parti ribassate. In verde e rosso sono riportati rispettivamente i pozzi che raggiungono i calcari, con relativa quota s.l.m. del tetto, e quelli profondi che non arrivano ad intercettare i calcari, con relativa quota s.l.m. del fondo pozzo. I cerchietti neri e rossi indicano i punti di indagine sismica a riflessione e rifrazione con relativa quota s.l.m. del tetto dei calcari, rispettivamente eseguiti ex novo nell'ambito del rilevamento del Foglio 409 "Zapponeta" o precedentemente. In rosso tratteggiato la sezione geologica C-C', riportata in Fig. 45.

di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominata "Orta Nova".

Le indagini hanno messo in evidenza la presenza di due sistemi principali di faglie dirette che dislocano i calcari mesozoici della Piattaforma Apula: un sistema di faglie orientate NO-SE ed un sistema di faglie orientate NE-SO. Particolare importanza assume la faglia che passa tra la località di Siponto e la foce del torrente Candelario (la n. 5 di Fig. 44); essa infatti sembra dividere l'area del Foglio in due settori caratterizzati da stili tettonici diversi: il settore a NO della faglia stessa e quello a SE: il primo infatti si caratterizza per un assetto a *horst* e *graben*, il secondo per un assetto a gradinate sempre più ribassate verso SO e/o SE. Questa faglia inoltre, da noi denominata "faglia di Manfredonia", ribassa il blocco di SE e sembra coincidere sia con una delle strutture ad orientazione antiappenninica

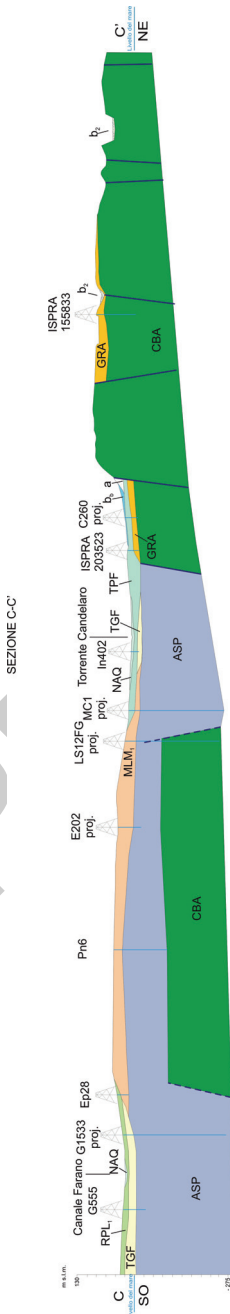


Fig. 45 - Sezione geologica C-C' tratta dal foglio 409 "Zapponeta" alla scala 1:50.000, che attraversa il graben del Candelaro e l'horst di Amendola.

riportata nell'intervallo III da CIARANFI *et alii* (1980) sia con la faglia di Manfredonia di RICCHETTI *et alii* (1992).

Riguardo il settore di NO, i carbonati della piattaforma apula, a partire dal pedegargano, si immergono al di sotto della copertura costituita dai depositi della Fossa Bradanica e del supersistema del Tavoliere di Puglia, conservando il tipico assetto ad *horst* e *graben*.

In particolare, nell'area del Foglio 409 "Zapponeta", ricadono due importanti strutture sepolte contigue: parte del *graben* del Candelaro e l'*horst* di Amendola (CALDARA & PENNETTA, 1993a). Esse sono delimitate da faglie dirette subverticali ad orientazione NO-SE che dislocano i calcari mesozoici della piattaforma apula (Fig. 45) denominate, da NE verso SO: "faglia del Candelaro" (MONGELLI & RICCHETTI, 1970; la n. 1 di Fig. 44), "faglia di Masseria Sportiello" (la n. 2 di Fig. 44), "faglia di Posta Farano" (la n. 3 di Fig. 44).

La presenza di queste tre dislocazioni che interessano i calcari mesozoici è evidenziata dalle stratigrafie delle perforazioni utilizzate per ricostruire la sezione CC' della carta geologica (Fig. 45) e dai punti di rilievo sismico n. 6 e 7 che mostrano chiaramente, procedendo dal Gargano verso l'alto di Amendola, un approfondimento della quota del tetto dei calcari in corrispondenza della valle del Candelaro e una risalita della stessa in corrispondenza dell'alto di Amendola.

Dalle perforazioni effettuate sull'alto di Amendola che intercettano i calcari mesozoici, si evidenzia come l'alto stesso corrisponda ad un *horst* dei calcari il cui tetto va da circa -70 m s.l.m. a NE, a circa -90 m s.l.m. a SO, fino a circa -153 m s.l.m. a SE. Non è possibile dire se tali differenze siano dovute ad ulteriori strutture.

Sempre nel settore di NO rispetto alla "faglia di Manfredonia", ritroviamo la "faglia del Torrente Celone" (la n. 4 di Fig. 44) che interessa l'angolo nord-occidentale del Foglio, ribassa il blocco settentrionale e costituisce il limite a NO dell'*horst* di Amendola. La sua presenza è confermata dalla quota di rinvenimento dei calcari in località Ponte di Lama (pozzo C 328; COLACICCO, 1953),

lungo il corso del torrente Celone, poco a nord del Foglio 409 “Zapponeta” pari a -215 s.l.m..

Passando invece al settore di SE rispetto alla “faglia di Manfredonia”, i dati acquisiti dalla sismica e dalle perforazioni permettono di ricostruire un assetto dei calcari mesozoici a ripiani separati da faglie dirette, sempre più ribassati verso SO e, in parte, verso SE; in quest’ultima direzione infatti, i calcari stessi tendono successivamente a risalire prima dell’angolo sud-orientale del Foglio.

Anche in questo settore abbiamo faglie orientate NE-SO e faglie orientate NO-SE. Tra le prime vi è la “faglia del Cervaro” (la n. 6 di Fig. 44) che ribassa il blocco di SE; la sua traccia in superficie corre, nella zona costiera, poco a sud del torrente Cervaro. Essa, insieme alla “faglia di Manfredonia”, individua un settore suddiviso in almeno 4 blocchi, tutti ribassati rispetto al settore a NO della “faglia di Manfredonia”, ma anche sempre più ribassati l’uno rispetto all’altro procedendo da NE verso SO.

Nel settore centro-orientale del Foglio, il tetto dei calcari sepolti, dopo il massimo ribassamento all’altezza del villaggio Ippocampo (- 498 m s.l.m.; Fig. 44), ricomincia a risalire proseguendo verso SE. Il dislivello tra il tetto dei calcari sepolti sotto il villaggio Ippocampo e quello sotto l’abitato di Zapponeta (- 411 m s.l.m.; Fig. 44) è di 87 metri: anche questo dato è spiegabile con l’esistenza di almeno un’altra faglia sepolta, orientata NE-SO che ribassa il blocco di NO (“faglia di Zapponeta”; la n. 7 di Fig. 44).

Queste considerazioni permettono di confermare la presenza del basso strutturale orientato da NE a SO, già riportato in letteratura da CIARANFI *et alii* (1980). Il ripiano più basso di questo *graben* è situato a -498 m s.l.m. nella zona costiera del villaggio Ippocampo.

Tra le faglie orientate NO-SE, sicuramente la più importante è quella da noi denominata faglia “Amendola-Giardino” (la numero 3 di Fig. 44), che ribassa il tetto dei calcari del blocco di SO. La presenza e l’andamento di questa importante faglia diretta sono stati dedotti, oltre che dai dati di perforazione e di sismica, anche dalla carta delle anomalie gravimetriche dell’AGIP (1986).

Nelle aree più a SO del Foglio non ci sono pozzi che intercettano il “pavimento” calcareo: tuttavia i pozzi DP15 e G1524, situati il primo a Borgo Fonte Rosa ed il secondo poco più di 2 km ad E, si sono spinti rispettivamente fino a -350 e -239 m s.l.m. senza incontrare i calcari. Esistono invece dati di sismica a riflessione raccolti in anni precedenti (punti di rilievo n. 9, 10, 11; Fig 44) che confermano l’assetto generale finora descritto.

#### 4. - I MOVIMENTI VERTICALI

In un recente lavoro di DE SANTIS *et alii* (2010) sono stati calcolati i movimenti verticali registrati nelle zone di Coppa Nevigata, dell’alto di Amendola, della

fascia costiera situata tra la foce del torrente Cervaro a nord ed il villaggio turistico Ippocampo a sud.

Tali movimenti verticali sono stati calcolati partendo dalla posizione attuale di livelli di sedimenti marini, intercettati in perforazione o affioranti, contenenti faune indicatrici di paleo-profondità e datati con il metodo della racemizzazione degli amminoacidi.

Le entità dei movimenti verticali così ottenute si riferiscono a tutto l'intervallo di tempo che intercorre tra un livello datato e quello successivo, senza possibilità di delimitare un eventuale momento preciso in cui si è verificato il movimento o, al contrario, di stabilire se tale movimento è stato continuo per tutto l'intervallo di tempo intercorso tra la deposizione di un livello datato ed il successivo.

Nella zona di Coppa Navigata, situata sul bordo meridionale del Gargano, si è potuto quantificare che, fra il MIS 13 ed il MIS 11 (Pleistocene medio *p.p.*), ci fu un sollevamento maggiore di 33 m, con un tasso di 0,14 mm/annui. Successivamente, dal MIS 11 ad oggi (Pleistocene medio *p.p.* - Olocene), l'area è rimasta sostanzialmente stabile. Questo dato è parzialmente in accordo con CIARANFI *et alii*, (1980) che invece parlano di sollevamento generalizzato e continuo durante l'intervallo IV/V.

Per l'alto di Amendola si è potuto quantificare che, fra il MIS 13 ed oggi (Pleistocene medio *p.p.* - Olocene), c'è stato un continuo sollevamento; esso è stato superiore ai 10 m tra il MIS 13 ed il MIS 11 (con un tasso di 0,17 mm/annui) e di circa 48 m tra il MIS 11 ed oggi (con un tasso medio di 0,12 mm/annui). Questo dato sembra sostanzialmente in accordo con CIARANFI *et alii* (1980).

Per la zona costiera, è stato possibile quantificare che, tra il MIS 7.1 e il MIS 5.5 (Pleistocene medio *p.p.* - Pleistocene superiore), ci fu una subsidenza maggiore di 30 metri (con un tasso di 0,4 mm/annui) nella zona del villaggio Ippocampo, mentre, nello stesso intervallo di tempo, la zona della foce del torrente Cervaro (pozzo MM4) ha subito un sollevamento di soli 6 m (ed un tasso di 0,01 mm/annui).

Tra il MIS 5.5 ed oggi (Pleistocene superiore - Olocene) invece, tutta la fascia costiera compresa tra la foce del torrente Cervaro ed il villaggio Ippocampo è stata interessata da una subsidenza uniforme di 26 m, con un tasso di 0,21 mm/annui.

Questi dati, che indicano una subsidenza recente nella zona costiera, sono in disaccordo con tutti i dati precedenti sulla tettonica dell'area esaminata (CIARANFI *et alii*, 1980; DOGLIONI, 1991) che invece indicano, in questo stesso periodo, un sollevamento generalizzato.

Un dato di fatto è che, procedendo da NO verso SE, si va da zone che sono state in prevalente sollevamento durante l'intervallo Pleistocene medio - Olocene, a zone che sono state in prevalente subsidenza nello stesso periodo di tempo. In particolare, l'Alto di Amendola è stato in costante sollevamento, la zona della foce del Cervaro prima in lievissimo sollevamento e poi in abbassamento, la zona del villaggio Ippocampo in costante abbassamento.

Questi movimenti differenziali che hanno interessato i depositi del supersintema del Tavoliere di Puglia (TP) possono essere spiegati con l'attività delle faglie orientate SO-NE. In particolare, per quanto riguarda il sollevamento che ha interessato l'alto di Amendola tra il MIS 11 e l'attuale, alcune informazioni possono venire dalla sezione geologica A-A' (vedi Foglio geologico), che attraversa la faglia di Manfredonia nel punto in cui essa fa da limite all'Alto di Amendola. I pozzi D3, E225 ed E197 sono situati ai due lati della faglia, i primi due sul letto, il secondo sul tetto: il pozzo D3 è quello da cui proviene un campione datato della parte alta delle argille subappennine, con un'età di  $508 \pm 102$  ka BP (DE SANTIS *et alii*, 2010; 2013); tra i pozzi E225 ed E197 vi è un dislivello del limite superiore delle argille subappennine di circa 25 metri in poco più di 1,5 km di distanza. Questa situazione può essere spiegata ammettendo che quel tratto della faglia di Manfredonia si sia mosso successivamente a  $508 \pm 102$  ka BP (MIS 13, Pleistocene medio). Se a questo aggiungiamo il successivo sollevamento dell'Alto di Amendola calcolato dal MIS 11 ad oggi (DE SANTIS *et alii*, 2010), è possibile ipotizzare un ulteriore ringiovanimento dell'attività di quel tratto della faglia di Manfredonia, che dovrebbe essere terminata in un periodo intermedio tra il MIS 11 e l'attuale.

Solo eventuali successive indagini potranno confermare se il tratto della faglia di Manfredonia che delimita l'alto di Amendola ha deformato o anche dislocato i sovrastanti depositi del MIS 11 (subsintema di Amendola, MLM).

## 5. - SISMICITA'

L'attività sismica storica documentata e quella recente rilevata strumentalmente non hanno evidenziato la presenza di importanti strutture sismogenetiche attive all'interno dell'area del Foglio 409 "Zapponeta", anche se, in passato, quest'area può aver risentito di scuotimenti sismici significativi in relazione all'attivazione di importanti faglie presenti esternamente fino a distanze dell'ordine di 50 km. Le informazioni sulla sismicità che storicamente ha interessato quest'area sono però alquanto lacunose, principalmente per l'assenza di centri abitati di antico insediamento. L'unico centro di rilievo attualmente esistente, e cioè il piccolo abitato di Zapponeta, è nato solo nella seconda metà del '700 e quindi non dispone di documentazione relativa agli eventi storici di maggior rilievo della storia sismica della Puglia settentrionale, quali il terremoto del 30 luglio 1627 nel nord del Tavoliere, con magnitudo di momento sismico stimata dai dati macrosismici (Maw) pari a  $6.66 \pm 0.20$ , e il terremoto del 20 marzo 1731, nel Tavoliere centro-meridionale, con Maw di  $6.53 \pm 0.25$  (ROVIDA *et alii*, 2011). Le ricostruzioni dei campi macrosismici di terremoti storici (POSTPISCHL, 1985; LOCATI *et alii*, 2011) indicano che l'area del Foglio è stata verosimilmente ricompresa in zone caratterizzate da intensità M.C.S. (Mercalli-Cancani-Sieberg) del VII e VIII grado

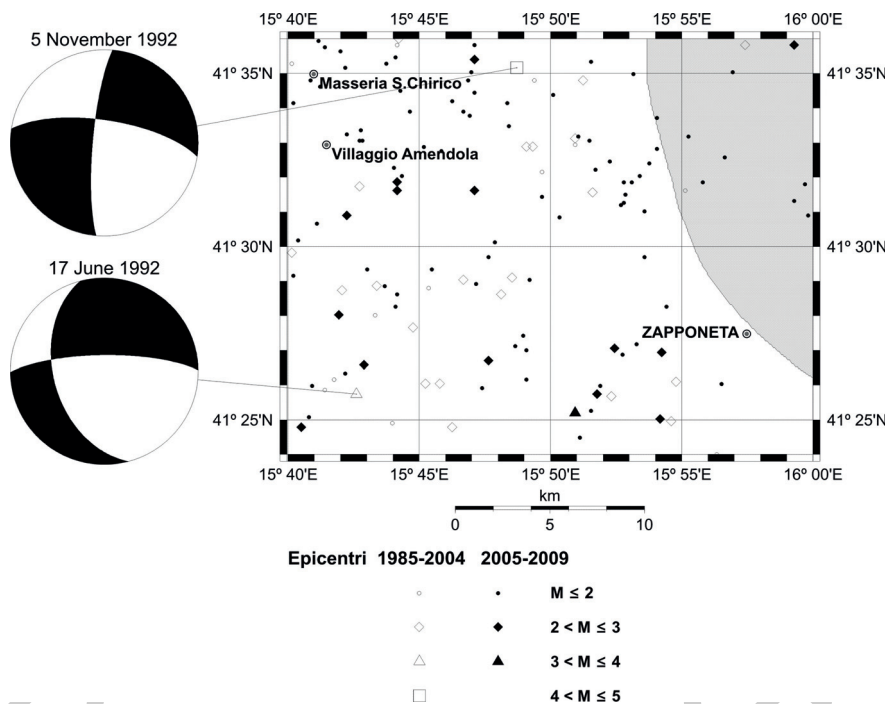


Fig. 46 - Eventi sismici con localizzazione nell'area del Foglio "Zapponeta". Con simboli diversificati, secondo quanto indicato in legenda, sono rappresentati gli epicentri di eventi di diversi intervalli di magnitudo. Gli eventi degli anni 1985-2004 sono rappresentati con simboli vuoti e quelli degli anni 2005-2009 con simboli pieni. I dati degli eventi per il periodo 1985-2004 e i meccanismi focali sono stati tratti da DEL GAUDIO *et alii* (2007); quelli per il periodo 2005-2009 sono stati tratti dal database ISIDe (INGV, 2010).

in occasione dei terremoti del 1627 e del 1731 e del VI grado per il terremoto del Vulture del 14 agosto 1851 ( $Maw\ 6.38 \pm 0.17$ ).

Per quanto riguarda il terremoto del 1731, il cui epicentro macrosismico è stato localizzato circa 15 km a sud del limite del Foglio "Zapponeta", l'unica documentazione di effetti riferibili ad un'area prossima a quella in considerazione è il crollo di una masseria in località Tressanti, appena oltre il confine meridionale del Foglio, che causò 18 vittime, con conseguente stima di una intensità VIII-IX M.C.S. (BOSCHI *et alii*, 2000). Nel caso del terremoto del 1627, il cui epicentro macrosismico è stato collocato 30 km a NO del Foglio "Zapponeta", uno scuotimento del VII-VIII grado M.C.S. è stato riconosciuto responsabile dei gravi danni subiti dalla Masseria S. Chirico, nell'angolo nordoccidentale del Foglio (Fig. 46). Infine, per quanto riguarda il terremoto del 1851, il cui epicentro macrosismico è stato individuato circa 50 km a S dell'area del Foglio 409, nessun



effetto è stato riportato per località all'interno dello stesso, ma danni ascrivibili a scuotimenti del VI-VII grado M.C.S. sono stati descritti per l'abitato di Casaltrinità (attuale Trinitapoli) localizzato meno di 10 km a SE dell'area del Foglio. Il solo ulteriore dato macrosismico riferito a località all'interno del Foglio in oggetto è uno scuotimento del IV grado M.C.S. che fu avvertito sensibilmente nel Villaggio Amendola, nella parte nordoccidentale (Fig. 46), ma senza produrre alcun effetto materiale, in occasione del terremoto del 10 agosto 1893 di magnitudo  $M_w$  pari a  $5.36 \pm 0.22$ , con epicentro nell'area di Mattinata, circa 15 km dall'estremità NE del Foglio 409.

In tempi più recenti, dal '900 ad oggi, i dati macrosismici indicano al massimo scuotimenti del V grado M.C.S., riscontrati a Zapponeta in occasione del terremoto Irpino del 23 novembre 1980 (magnitudo di momento sismico strumentale  $M_w = 6.9$ ) e dei due terremoti garganici del 16 gennaio 1951 ( $M_w$  pari a  $5.35 \pm 0.20$ ) e del 30 settembre 1995 ( $M_w = 5.2$ ), con localizzazioni epicentrali molto simili, all'interno del promontorio garganico, 23-24 km a NNE dell'area del Foglio 409 "Zapponeta".

I dati di sismicità strumentale si presentano attendibili solo a partire dal 1985. Uno studio specifico della sismicità nel nord della Puglia (DEL GAUDIO *et alii*, 2007) ha localizzato 35 eventi con epicentro all'interno dell'area in considerazione, avvenuti tra il 1985 e il 2004 (Fig. 46). Quasi tutti questi eventi hanno avuto magnitudo locale  $M_L$  o magnitudo della durata  $M_D$  non superiore a 3.0, con le sole eccezioni di due scosse registrate nel 1992, l'una, a SO, il 17 giugno, e l'altra a N, il 5 novembre, rispettivamente di magnitudo 3.2 e 4.4. Di queste due scosse è stato anche possibile ottenere i meccanismi focali, che si presentano abbastanza simili, con un prevalente carattere trascorrente cui si sovrappone una componente estensionale più accentuata per l'evento sud-occidentale rispetto a quello settentrionale (Fig. 46). Questo dato è consistente con l'ipotesi avanzata nel citato studio (DEL GAUDIO *et alii*, 2007) che la sismicità attuale denota una transizione, attraverso l'area del Tavoliere, dal regime transpressivo evidenziato dai meccanismi focali nell'area Gargano-Tremonti, ad un regime transtensivo, verso l'interno del Tavoliere; questo, a sua volta, evolve verso il regime distensivo prevalente negli eventi sismici recenti registrati nella catena appenninica meridionale.

Dal 2005 la capacità di rilevamento della sismicità di bassa energia è sensibilmente migliorata: in dieci anni, fino a tutto il 2014, nell'area del Foglio 409 sono stati localizzati (dati INGV, 2015) 129 eventi, di cui 109 di magnitudo non superiore a 2.0 ed uno solo di magnitudo superiore a 3.5: quest'ultimo, di magnitudo 3.6, è avvenuto il 10 luglio 2007 nella parte meridionale dell'area in considerazione. Nel complesso la distribuzione spaziale degli epicentri strumentali (Fig. 46) appare piuttosto sparsa e non mostra allineamenti che possano far pensare a strutture tettoniche attive di scala regionale, avendo piuttosto le caratteristiche di una microsismicità di fondo superficiale (profondità non superiore ai 30 km e, per quasi il 90% degli eventi, inferiore ai 15 km).

Per quanto riguarda i riflessi sulla pericolosità sismica di questa attività e di quella delle strutture sismogenetiche più prossime all'area in considerazione, le più recenti stime condotte a livello nazionale (GRUPPO DI LAVORO, 2004) portano a definire per quest'area un livello medio di pericolosità, con valori di accelerazioni di picco del suolo (PGA - *Peak Ground Acceleration*) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni compresi tra 0.13 e 0.18 g, crescenti gradualmente da S verso N. Tali valori sono a cavallo del limite di 0.15 g che separa la zona sismica 3 dalla 2, cioè le zone rispettivamente caratterizzate da pericolosità medio-bassa e medio-alta.

Per altro, proprio nell'area in considerazione, le suddette stime di pericolosità sono fortemente condizionate da una zonazione sismogenetica che attribuisce un ruolo dominante, nella pericolosità sismica regionale, a una struttura trascorrente continua con sviluppo O-E che va dall'area del terremoto del Molise del 31 ottobre 2002 (Mw=5.7) al sistema di faglie Mattinata-Monte S. Angelo-S. Marco in Lamis. E' tuttavia controversa l'identificazione di tale struttura come responsabile dei maggiori terremoti che hanno colpito il nord della Puglia e, quindi, potenzialmente in grado di generare "anche in futuro" terremoti di elevata energia. Una zonazione sismogenetica più articolata, che distingue 4 zone con proprietà sismogenetiche diverse, è stata proposta da DEL GAUDIO *et alii* (2009) sulla base dei risultati di studi specifici sulla sismicità della Puglia settentrionale (DEL GAUDIO *et alii*, 2007). Rispetto alle stime del 2004, le stime di pericolosità ottenute con questa zonazione mostrano, nel complesso, per l'area del Foglio 409 "Zapponeta", un leggero incremento, con valori di PGA compresi tra 0.14 e 0.23 g. Tuttavia, secondo queste stime, i valori di PGA presentano una maggiore variabilità, con incrementi localmente non trascurabili, come nell'area costiera meridionale del Golfo di Manfredonia. In particolare, nei pressi dell'abitato di Zapponeta, la PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, secondo le nuove stime, passerebbe da 0.13 a 0.19 g. Ciò è il riflesso di una redistribuzione del potenziale sismogenetico della regione tra strutture meno estese ma con una presenza più ampiamente diffusa sul territorio. Questi dati evidenziano l'importanza di chiarire con maggior dettaglio, negli studi futuri, le proprietà e la localizzazione delle strutture sismogenetiche effettivamente responsabili dell'attività sismica più energetica ricorrente nella Puglia settentrionale.

## VII - GEOMORFOLOGIA

L'area del Foglio 409 "Zapponeta" ricade in due distinti domini geomorfologici: il massiccio del Gargano e il Tavoliere di Puglia (Fig. 47).

Il massiccio del Gargano è articolato in quattro principali distretti morfologici. L'altopiano centrale carsico, la regione dei terrazzi meridionali, il versante orientale di modellamento torrentizio e la regione dei terrazzi nord-occidentali (CALDARA & PALMENTOLA, 1991).

In particolare, la regione dei terrazzi meridionali è conformata in ampi ripiani suborizzontali (CHECCHIA RISPOLI, 1916) i quali rappresentano lembi ribassati, per cause tettoniche, dell'altopiano centrale carsico. Tali ripiani infatti sono delimitati da marcate scarpate di faglia e sono localmente incisi da brevi e profondi solchi che si estinguono nelle spianate sottostanti in corrispondenza di estese conoidi di deiezione, in alcuni casi coalescenti, e attualmente in fase di reincisione (BOENZI & CALDARA, 1999).

I principali ripiani riconoscibili nella regione dei terrazzi meridionali sono due. Quello più alto passa dolcemente dalla quota di 600 m s.l.m. alla quota di 400 m s.l.m. e su di esso si trovano i comuni di Rignano Garganico, San Marco in Lamis e San Giovanni Rotondo; il ripiano più basso, detto pedegargano (CALDARA *et alii*, 2005a), è posto fra le quote di 150 e 100 m s.l.m.

Quest'ultimo, che rientra in parte nell'area del Foglio 409 "Zapponeta", ha una pianta subtriangolare, si estende grosso modo fra Madonna di Cristo, ai piedi di Rignano Garganico, e Santa Maria di Pulsano, a SO di Monte Sant'Angelo; si

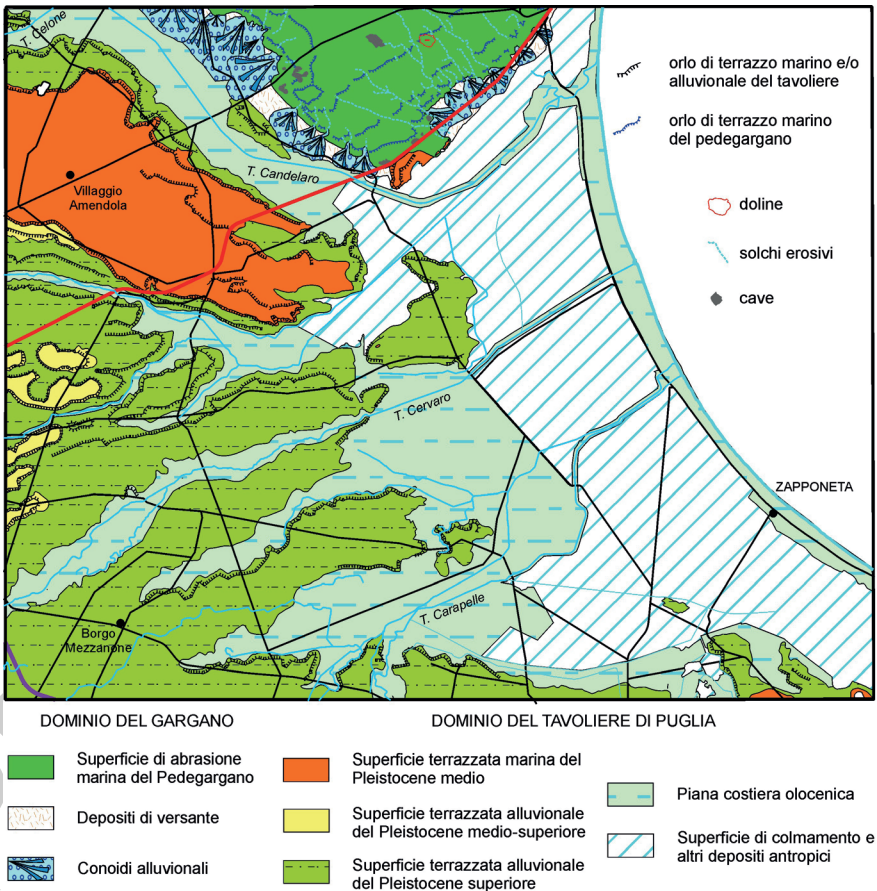


Fig. 47 - Carta geomorfologica schematica.

allarga per più di 8 km fino a Monte Aquilone e nel complesso digrada verso il Golfo di Manfredonia. Esso risulta rimodellato dall'azione marina e dagli agenti esogeni: in particolare, tra Manfredonia e Monte Aquilone sono ancora visibili, a quota diverse, varie modeste cadute di pendio dovute a momenti di stasi durante la generale regressione marina del Quaternario (CALDARA *et alii*, 2005a). L'azione marina ha in parte obliterato anche le forme carsiche superficiali, risalenti alla lunga fase di emersione che caratterizzò l'avampaese apulo durante gran parte dell'era cenozoica. E' inoltre presente una dolina ampia circa 500 m (dolina Caniglia) e alcune doline a pozzo (Grave Signoritti e Grave San Leonardo, nel limitrofo Foglio 397 "Manfredonia").

L'area del Tavoliere di Puglia, invece, ha una storia morfologica che inizia con la chiusura del ciclo bradanico, con sollevamento areale e conseguente generale regressione del mare verso l'attuale posizione. Periodi di stasi nel sollevamento, combinati con oscillazioni glacio-eustatiche del livello del mare, hanno permesso il modellamento della piana con una serie di terrazzi marini ed alluvionali.

Nell'area del Foglio 409 "Zapponeta" occupata dalla piana del Tavoliere di Puglia, si riconoscono 3 superfici terrazzate, al di sopra della piana costiera olocenica ed attuale.

La superficie più alta, e più antica, corrisponde quasi interamente al cosiddetto alto di Amendola, che si allunga da ONO verso ESE nella zona nord-occidentale del Foglio, la cui quota passa da un massimo di circa 60 metri ad un minimo di circa 20 metri s.l.m.. Si tratta di un pianoro la cui superficie immerge verso E-SE di pochi gradi, che è bordato da modeste scarpate. Tale superficie risulta interrotta da una scarpata secondaria che la suddivide in due settori (Fig. 47).

Dal punto di vista litologico coincide con l'area di affioramento del subsistema di Amendola ( $MLM_1$ ), costituito da sabbie e arenarie di ambiente marino prossimale datate al MIS 11. Esso, quindi, può essere considerato un lembo relitto di un terrazzo marino, formatosi quando il mare penetrò profondamente nell'entroterra dell'attuale Golfo di Manfredonia, poi rimodellato dagli agenti atmosferici e dall'erosione fluviale. Un piccolo lembo relitto della stessa superficie terrazzata è presente in sinistra del T. Candelaro.

Nell'angolo sud-orientale del Foglio 409 "Zapponeta", in corrispondenza di un piccolo affioramento delle sabbie di Torre Quarto (STQ), è presente un lembo residuo di un terrazzo marino. Vista l'età attribuita da DE SANTIS *et alii* (2013) al deposito, esso è coevo con quello che costituisce l'alto di Amendola.

La seconda superficie terrazzata occupa lembi discontinui posti lungo il margine occidentale del Foglio, coincidenti con le aree di affioramento del sistema di Foggia (TGF). Tale superficie si raccorda con quella più bassa per mezzo di una scarpata a basso angolo. Poiché il sistema di Foggia è costituito prevalentemente da depositi ghiaiosi in facies di piana alluvionale ed è stato datato al MIS 6 (DE SANTIS *et alii*, 2010, 2013), si tratta di una superficie terrazzata formatasi durante la fase di abbassamento del livello marino che portò al minimo del MIS 6.

La terza superficie terrazzata è la più estesa di tutte e coincide con le aree di affioramento del subsistema dell'Incoronata ( $RPL_1$ ) e, secondariamente, del sistema di Masseria Finamondo (TPF). La distinzione, sulla stessa superficie terrazzata, di due sistemi è dovuta esclusivamente al fatto che i depositi si sono sedimentati in due diversi bacini idrografici contigui. Questa superficie terrazzata è posta immediatamente sopra la piana alluvionale olocenica ed attuale, da cui la separa una scarpata che si sviluppa con buona continuità attraverso il Tavoliere, soprattutto in sinistra orografica dei solchi erosivi.

Poiché il subsistema dell'Incoronata ( $RPL_1$ ) è stato datato all'intervallo MIS 5-3

(DE SANTIS *et alii*, 2010, 2013) ed il sintema di Masseria Finamondo dovrebbe essere coevo, la relativa superficie terrazzata può essere considerata come un terrazzo formatosi durante fasi di alluvionamento che caratterizzarono quell'intervallo di tempo. La successiva caduta del livello del mare dovuta al sopraggiungere della glaciazione würmiana (MIS 2), causò una fase di forte incisione e la formazione della scarpata che separa questa superficie terrazzata dalla sottostante piana costiera olocenica.

Quest'ultima, caratterizzata da ampiezze variabili di circa 4-7 km a partire dalla linea di costa verso l'entroterra, tende ad ampliarsi fino a raggiungere i 20-25 km in corrispondenza dei corsi d'acqua. Essa si è formata a seguito dell'ultima risalita marina postwürmiana che ha causato l'innalzamento del livello di base ed il conseguente alluvionamento parziale delle valli fluviali incise dai numerosi corsi d'acqua che solcano il Tavoliere di Puglia.

Questi nascono dall'Appennino e scorrono in direzione OSO-ENE, ad eccezione del Candelaro, vincolato da strutture tettoniche: esso dapprima segue l'allineamento NO-SE del *graben* del Candelaro (CALDARA & PENNETTA, 1993a), per poi deviare a NE, probabilmente in corrispondenza della linea Manfredonia - Sorrento (RICCHETTI *et alii*, 1992).

A più riprese, a partire dalla sua formazione, la piana costiera attuale e recente è stata interessata dall'instaurarsi di ambienti lagunari, la cui evoluzione è stata condizionata dal clima olocenico, dal regime dei corsi d'acqua e, in ultimo, dall'intervento antropico. Infatti, ad esempio, intorno al II secolo d.C., è proprio alle alluvioni portate dal Cervaro che si deve la suddivisione in due tronconi della laguna allora presente lungo la fascia costiera: Lago Salso a nord e Lago di Salpi a sud.

Da questo momento inizia anche la storia dei numerosi laghi costieri in seguito formati tra cui, oltre ai già citati, il Versentino ed il Contessa. Queste aree umide sono state quasi tutte bonificate per colmata a partire dalla prima metà del XIX secolo, per impulso dei Borboni, fino alla cosiddetta "bonifica integrale" prevista dalla legge Serpieri-Iandolo del 1933.

Le bonifiche per colmata hanno ricoperto, oltre ai laghi costieri, anche vaste fasce dunali oloceniche (Fig. 48), creando come risultato una pianura del tutto piatta, estesa fino ad un massimo di alcuni chilometri dalla linea di costa.





Fig. 48 - Nell'immagine del 2005 (Compagnia Generale Riprese Aeree) si riconosce ancora, sotto le coperture delle colmate, l'alternanza fra fasce dunari (colore più chiaro) e depositi retrodunari (in verde più scuro).

## VIII - IDROGEOLOGIA

Le unità acquifere principali presenti nell'area del Foglio 409 "Zapponeta" (Fig. 49) sono quelle che caratterizzano il sottosuolo del Tavoliere (MAGGIORE *et alii*, 1996; 2004).

Procedendo dal basso verso l'alto, la successione è la seguente:

- acquifero fessurato-carsico;
- acquifero poroso profondo;
- acquifero poroso superficiale.

### 1. - ACQUIFERO FESSURATO-CARSICO (PC)

Questa unità trova sede nelle rocce calcaree del substrato pre-pliocenico dell'avanfossa appenninica ed è collegata lateralmente alle falde idriche del Gargano e delle Murge (MAGGIORE *et alii*, 2004). Dato il tipo di acquifero, la circolazione idrica sotterranea è condizionata in maniera significativa sia dalle numerose faglie che dislocano le unità sepolte della Piattaforma Apula che dallo stato di fratturazione e carsificazione della roccia calcarea (GRASSI & TADOLINI, 1992). Nel Foglio 409 la possibilità di utilizzo di questa risorsa idrica è limitata alle zone dove le unità calcaree affiorano o si trovano a profondità inferiori a qualche centinaio di metri. Questo si verifica nella zona pedegarganica (MAGGIORE *et alii*, 1996; 2004) e sull'alto di Amendola. Riguardo la zona pedegarganica, e segnatamente

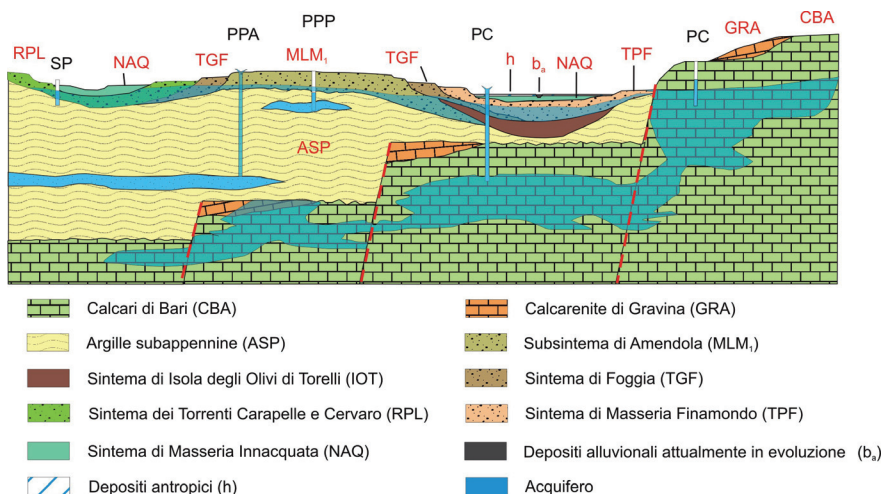


Fig. 49 - Schema idrogeologico del Tavoliere di Puglia adattato al Foglio 409 "Zapponeta"  
 PC = acquifero fessurato-carsico profondo; PPA = acquifero poroso profondo artesiano  
 PPP = acquifero poroso profondo in pressione; SP = acquifero poroso superficiale

nelle aree di Manfredonia e Siponto, si osserva che la salinità della falda carsica aumenta bruscamente all'aumentare della profondità, fino ad assumere valori tipici dell'acqua marina; questo fenomeno è imputabile all'intrusione salina (MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004). Altra caratteristica tipica delle acque sotterranee riscontrata lungo la fascia pedegarganica è l'elevato valore di temperatura, compresa tra 22 e 28 gradi, misurato rispettivamente alla sorgente Mascherone e in alcuni pozzi (MONGELLI & RICCHETTI, 1970; PAGLIARULO, 1996; MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004). L'alta temperatura di queste acque è spiegabile con un mescolamento tra acque di origine meteorica e acque connate profonde che risalgono verso la superficie attraverso le discontinuità del substrato carbonatico (MAGGIORE *et alii*, 2004).

## 2. - ACQUIFERO POROSO PROFONDO (PP)

L'acquifero poroso profondo si rinviene nei livelli sabbioso-limosi e, in minor misura, ghiaiosi, presenti a diverse altezze nelle argille subappennine (MAGGIORE *et alii*, 2004). Al momento sono ancora poco note la distribuzione spaziale e la geometria di questi corpi idrici, nonché le loro modalità di alimentazione e di deflusso (COTECCHIA *et alii*, 1995; MAGGIORE *et alii*, 1996; 2004). Allo stato attuale la presenza di tale acquifero nell'area del Foglio 409 "Zapponeta" è stata documentata nell'area sud-occidentale nei pressi di Borgo Mezzanone, Macchia Rotonda e Borgo Fonte Rosa (MAGGIORE *et alii*, 1996). Dove documentati, i livelli

acquiferi sono costituiti da corpi forse discontinui di forma lenticolare, localizzati a profondità variabili tra i 150 e 500 m circa dal piano campagna ed il loro spessore non supera le poche decine di metri. La falda è ovunque in pressione (PPP) e presenta quasi sempre caratteri di artesianità (PPA).

La produttività dei livelli idrici, pur essendo variabile da luogo a luogo, risulta sempre molto bassa con portate di pochi litri al secondo e, in genere, tende a diminuire rapidamente fino, in alcuni casi, al completo esaurimento della falda. Ciò indica una ricarica molto lenta nel tempo (COTECCHIA *et alii*, 1995). Le analisi condotte da MAGGIORE *et alii* (1996), pur evidenziando una notevole variabilità composizionale, mostrano una generale prevalenza dello ione sodio e dello ione bicarbonato, mentre calcio, cloruri e solfati sono presenti in concentrazioni più basse. Questo porta a definire queste acque come bicarbonato-sodiche. Altra caratteristica è rappresentata dalla bassa salinità totale (<0.6 g/l), che tende tuttavia ad aumentare in prossimità del mare. Gli elevati valori di sodio fanno sì che l'utilizzo di queste acque in agricoltura sia fortemente sconsigliato soprattutto in presenza di terreni limo-argillosi, affioranti prevalentemente nella parte bassa del Tavoliere (MAGGIORE *et alii*, 2004).

### 3. - ACQUIFERO POROSO SUPERFICIALE (SP)

L'acquifero poroso superficiale si rinviene nei depositi quaternari che ricoprono con notevole continuità laterale le argille subappennine lo spessore di questi depositi aumenta andando verso la costa fino a superare i 100 metri (sezione A-A' della carta geologica; DE SANTIS *et alii*, 2013).

Le stratigrafie dei numerosi pozzi per acqua evidenziano l'esistenza di una successione di terreni sabbioso-ghiaiosi permeabili ed acquiferi, intercalati a livelli limo-argillosi, a luoghi sabbiosi, a minore o nulla permeabilità.

I diversi livelli in cui l'acqua fluisce costituiscono orizzonti idraulicamente interconnessi, dando luogo ad un unico sistema acquifero. In linea generale, i sedimenti a granulometria grossolana che prevalgono nelle aree più interne svolgono il ruolo di acquifero. Tali sedimenti, che nelle aree più interne sono spesso affioranti, verso la costa affiorano più raramente, in quanto diminuiscono di spessore e si presentano intercalati a sempre più numerosi livelli limoso-sabbiosi, che svolgono il ruolo di acquitardo e che sulla costa divengono predominanti. Ne consegue che, in genere, la profondità di rinvenimento delle acque sotterranee aumenta andando dall'interno verso la costa e che l'acqua circola in condizioni freatiche nelle aree più interne ed in pressione man mano che ci si avvicina alla costa (COTECCHIA, 1956; MAGGIORE *et alii*, 2004). Anche la potenzialità reale della falda, essendo strettamente legata a fattori di ordine morfologico e stratigrafico, varia sensibilmente da zona a zona. Le acque, infatti, tendono ad accumularsi preferenzialmente dove il tetto delle argille subappennine forma dei veri e propri

impluvi e/o laddove lo spessore dei terreni permeabili è maggiore e/o dove la loro natura è prevalentemente ghiaiosa (CALDARA & PENNETTA, 1993a). Circa le modalità di alimentazione della falda superficiale, un contributo importante proviene dalle precipitazioni ma, in aggiunta, diversi Autori ritengono che contribuiscano anche i corsi d'acqua laddove essi attraversano aree il cui substrato è permeabile (ZORZI & REINA, 1956; COLACICCO, 1953; COTECCHIA, 1956; MAGGIORE *et alii*, 1996).

Dal punto di vista chimico, verso la costa, dove avviene un parziale mescolamento con le acque marine, le acque della falda porosa superficiale risultano essere clorurato-alcaline e presentano valori di salinità variabili tra 2-3 g/l. In corrispondenza delle aree più interne, tali acque ricadono nel campo delle acque bicarbonato-alcaino terrose e presentano valori di salinità di norma inferiori ad 1 g/l (MAGGIORE *et alii*, 1996).

#### 4. - SORGENTI

Attualmente nell'area del Foglio 409 le venute a giorno di acque sotterranee sono riconducibili al solo acquifero fessurato carsico e si verificano esclusivamente lungo la fascia pedegarganica, fra la stazione di Candelaro e la bonifica di Siponto.

In quest'area, si contano attualmente sei sorgenti perenni. Procedendo dall'interno, le prime tre si incontrano nell'area di Masseria Coppa Navigata (indicate con i numeri 1-3 in Fig. 50): si tratta di scaturigini presenti in limitati affioramenti dei calcari mesozoici oppure di sorgenti di tipo ascendente o di trabocco per sbarramento, laddove i depositi antropici (h) di colmata storica, scarsamente permeabili, ricoprono i calcari o si addossano ad essi; la loro portata non è mai stata misurata ma non dovrebbe superare qualche litro al secondo. Oggi, le sorgenti 2 e 3, modificate dall'uomo, alimentano delle vasche usate per l'allevamento delle bufale.

Altre due sorgenti sono presenti nella zona di Masseria Frattarolo (indicate con i numeri 4 e 5 in Fig. 50), con caratteristiche ed utilizzo analoghi alle precedenti.

Nell'area della bonifica di Siponto, ci sono attualmente varie sorgenti di cui una sola ricade nell'area del Foglio, denominata "Mascherone" dall'omonima masseria sita nei pressi (la n. 6 in Fig. 50). Il MINISTERO LL.PP. (1953) riporta, per tale sorgente perenne, 17 valori di portata, misurati tra il 1938 e il 1951; il valore medio risulta essere di circa 71 l/s. In uno dei rilievi del 1951 viene riportata anche una temperatura delle acque di 21 °C. COTECCHIA & MAGRI (1966) riportano più sinteticamente, per la stessa sorgente, una portata di 100 l/s e una temperatura delle acque di 22°C. Gli stessi Autori specificano che le acque emergenti dalla falda carsica filtrano attraverso i depositi costieri sabbiosi e le colmate delle bonifiche di Siponto, dando origine ad una sorgente di tipo ascendente. In realtà, tutta l'area della onifica di Siponto è interessata da una fitta rete di canali che drenano le acque provenienti da numerose polle sorgentizie minori disperse nell'intricata

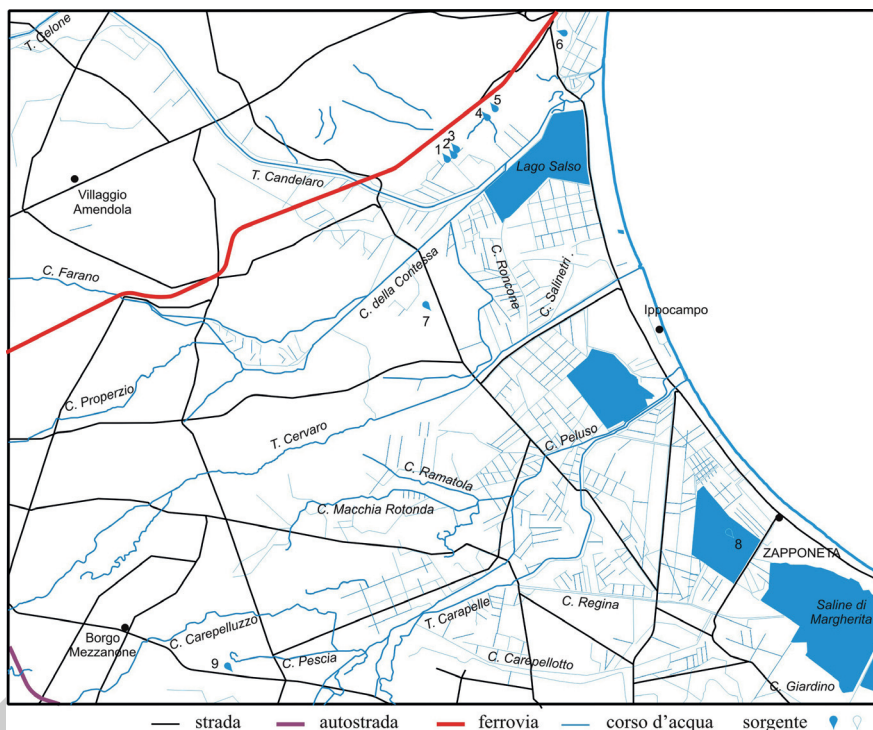


Fig. 50 - Le sorgenti del Foglio 409 "Zaponeta"

vegetazione palustre. Queste acque sono oggi utilizzate per irrigare le colture orticole della zona. Nelle carte topografiche in scala 1:25.000, risalenti agli anni '50, le sorgenti fin qui descritte non sono riportate, mentre risultavano presenti, nella piana del Tavoliere, altre tre sorgenti, tutte non perenni, legate alla falda acquifera porosa superficiale. La prima di queste era cartografata tra le località Versentino e Beccarini (la n. 7 in Fig. 50); doveva probabilmente trattarsi di una sorgente di trabocco che nasceva all'intersezione tra la superficie topografica e l'interfaccia tra un livello permeabile ed uno impermeabile del subsistema delle Marane la Pidocchiosa-Castello ( $RPL_1$ ). La seconda sorgente, denominata fonte Baldasserio, era cartografata a sud-ovest dell'abitato di Zaponeta (la n. 8 in Fig. 50). Nell'area sono state realizzate, negli anni '60, vasche di raccolta acque a scopo di riserva di caccia e pesca; l'intero complesso di vasche, oggi ricoperte da un fitto canneto, è denominato "Valle di San Floriano" ed è di difficile accesso: per questo motivo non è possibile confermare la presenza di tale sorgente. La terza



sorgente era cartografata in località La Scrofolà (la n. 9 in Fig. 50). Pur non essendo indicata col simbolo apposito, nell'area sono stati riportati piccoli specchi d'acqua da cui partivano corsi d'acqua che confluivano nel canale La Pescia; doveva probabilmente trattarsi di una serie di sorgenti di trabocco per sbarramento che nascevano al contatto tra un livello permeabile del sistema dei torrenti Carapelle e Cervaro (RPL) e il sistema di Masseria Inacquata (NAQ).

## 5.- SCADIMENTO E DEPAUPERAMENTO DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE

Con le bonifiche effettuate nei primi decenni del 1900, la piana costiera del Tavoliere è divenuta un'area a grande potenzialità agricola, grazie anche alla buona disponibilità di acqua, sia in superficie che nel sottosuolo. A partire dagli anni '70, nell'area si è registrata la sostituzione delle colture cerealicole con quelle ortive più redditizie, di conseguenza la richiesta di acqua è notevolmente aumentata. L'area del Foglio 409 "Zapponeta" è servita dal Consorzio di Bonifica della Capitanata, il cui comprensorio irriguo è limitato alle aree occidentali del Foglio e ad una ristretta fascia costiera fra Margherita di Savoia e Zapponeta. L'uso agricolo, unitamente all'aumentata richiesta di acqua per usi civili, ha comportato un forte incremento dell'uso delle acque sotterranee e il progressivo depauperamento della risorsa stessa (DE GIROLAMO *et alii*, 2001; 2002), essendo il fabbisogno di gran lunga superiore alla ricarica annua. Lo stato attuale della falda superficiale risulta molto differente rispetto all'inizio del secolo scorso, quando si segnalavano condizioni di falde pressoché affioranti (MINISTERO LL.PP, 1928), ma anche rispetto gli anni '50 quando si segnalavano acque freatiche poco profonde ed abbondanti (COLACICCO, 1951).

Oggi, le portate dei pozzi sono spesso così esigue (1-3 l/s) da rendere necessaria la trivellazione di pozzi sempre più profondi, che negli ultimi anni si sono spinti fino ad intercettare l'acquifero poroso profondo, e la realizzazione di vasche di accumulo (MAGGIORE *et alii*, 2004).

Altro problema di primaria importanza è costituito dalla progressiva intrusione di acque marine nell'entroterra. Questo fenomeno interessa lungo la fascia costiera sia l'acquifero fessurato carsico sia l'acquifero poroso superficiale (MAGGIORE *et alii*, 2004).

Al degrado quantitativo si accompagna, inevitabilmente, uno scadimento qualitativo. L'incremento di salinità delle acque, direttamente legato allo sfruttamento intensivo delle falde, e il consumo eccessivo di concimi azotati e fosfatici, di erbicidi e fitofarmaci, assieme allo sversamento non controllato di reflui e all'abbandono di rifiuti di diversa natura, sono tra le cause principali del degrado qualitativo (SOGESID S.p.A., 2009).

## IX - ELEMENTI DI GEOLOGIA TECNICA E APPLICATA

Alcuni aspetti di carattere geologico tecnico sono già stati accennati nel capitolo precedente ed in particolare nel paragrafo 5. Di seguito si affrontano brevemente altri aspetti applicativi quale l'attività estrattiva e alcune emergenze ambientali del territorio studiato quali la subsidenza, l'erosione costiera e il dissesto idrogeologico.

### 1. - SUBSIDENZA

La piana costiera del golfo di Manfredonia è interessata da subsidenza, fenomeno che negli ultimi anni ha subito una forte accelerazione. Diversi sono gli studi che sono stati condotti per quantizzare l'entità del fenomeno, mentre, allo stato attuale, ciò che manca sono approfondimenti che portino all'individuazione sicura delle cause che lo hanno determinato.

Un primo studio conoscitivo (AA.VV., 2000) condotto sulla pianura del Tavoliere, commissionato dalla Regione Puglia, ha portato all'individuazione delle aree sensibili al pericolo di subsidenza, alla scala 1:200.000, distinte per condizioni geologiche (Fig. 51): a) condizioni geolitologiche di superficie legate alla presenza in affioramento di terreni ad elevata compressibilità o soggetti a cambiamenti di volume a seguito di variazioni del contenuto d'acqua (depositi palustri e torbosi di età suprapleistocenica-olocenica e depositi di colmata); b)

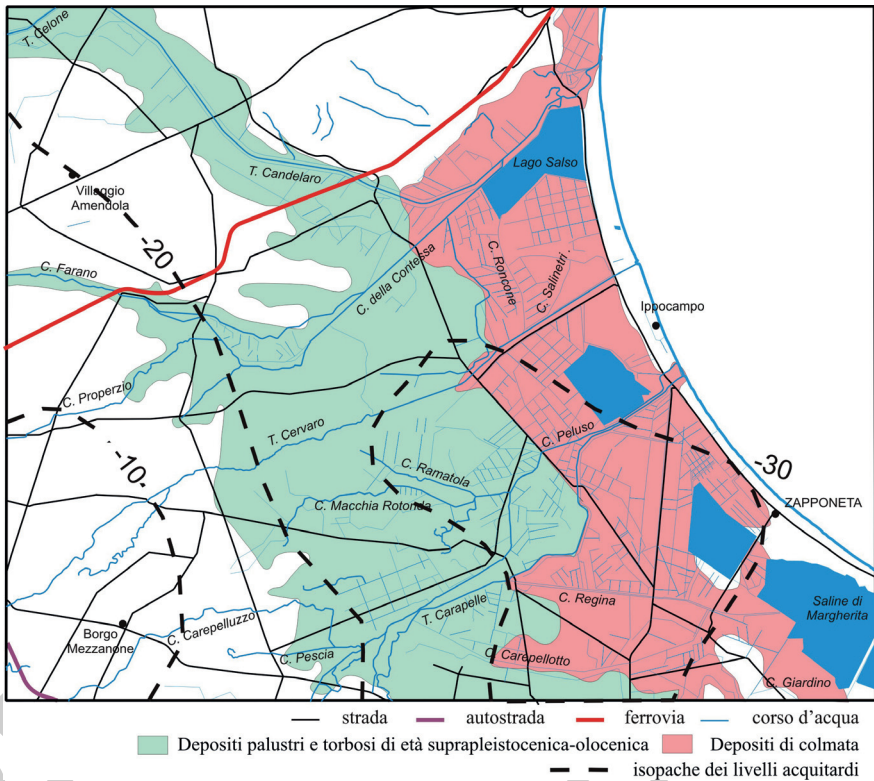


Fig. 51 - Le aree sensibili al pericolo di subsidenza (AA.VV., 2000).

condizioni idrogeologiche legate alla diminuzione della pressione interstiziale in sistemi acquiferi costituiti da materiali sciolti contenenti livelli limoso-argillosi. Sono riportate anche le isopache dei livelli acquiferati, da cui risulta che il massimo spessore è superiore a 30 metri; c) condizioni stratigrafico-strutturali relative ai giacimenti di idrocarburi. Nell'area del Foglio 409 "Zapponeta" sono state riconosciute le prime due tipologie.

Successivamente, sempre la Regione Puglia ha commissionato un monitoraggio della subsidenza, mediante la selezione e il controllo nel tempo con misure di precisione di capisaldi trigonometrici (sistema GPS in modalità differenziale statica) scelti tra quelli delle reti geodetiche esistenti (IGM 95), opportunamente integrati con una rete di vertici realizzati appositamente. L'intervallo di osservazione, di poco più di due anni (tra il 2006 e il 2008), troppo breve per la tipologia e le velocità del fenomeno da monitorare, a cui si aggiunge la presenza

di molte misure con differenze di quota vicine all'errore strumentale, hanno reso questo studio poco conclusivo (AA.VV., 2009).

A questo punto, al fine di individuare le velocità di subsidenza nel tratto costiero che va da Manfredonia al porto di Margherita di Savoia, è stato intrapreso uno studio basato sull'utilizzo di tecniche di interferometria differenziale applicate a dati radar ad apertura sintetica (AA.VV., 2009). In particolare, è stata applicata la *Persistent Scatterers Interferometry* (PSI) su immagini acquisite dai satelliti ERS in geometria ascendente (Agosto 1992 - Agosto 2000), in geometria discendente (Luglio 1995 - Dicembre 2000), e su immagini del satellite ENVISAT acquisite in geometria ascendente (Giugno 2003 - Giugno 2008).

Poiché l'area analizzata è caratterizzata da pochi agglomerati urbani, presenti principalmente lungo la costa, intervallati da ampie porzioni di territorio a bassissima densità di manufatti antropici che restituiscono un segnale radar riflesso costante su tutto l'intervallo di osservazione (TRIGGIANI *et alii*, 2009b), lo studio è stato condotto in maniera duplice. Nel primo caso è stata suddivisa la pianura in zone con estensione limitata, centrate sulle aree con più manufatti, sulle quali è possibile adottare modelli matematici più affidabili, basati su un numero più alto di dati congrui. Tali aree sono state successivamente raccordate tra loro per avere un quadro generale coerente dei movimenti (TRIGGIANI *et alii*, 2009a). I raccordi sono stati effettuati partendo da un'area ritenuta stabile individuata in località Coppa Nevigata e procedendo verso S. Infatti, a partire da circa 410 ka ad oggi, l'area è stata interessata da una debolissima subsidenza, con un tasso medio di circa -0,007 mm/anno (DE SANTIS *et alii*, 2010; 2013). Il raccordo è risultato più difficile tra il Villaggio Turistico Ippocampo e l'abitato di Zapponeta. Nel secondo caso l'analisi è stata condotta a scala più ampia, quindi con un più basso numero di riflettori congrui, che ha comportato una risoluzione finale più bassa. I due metodi hanno portato a risultati del tutto simili dimostrando quindi la validità dei raccordi effettuati tra le aree contigue.

I risultati ottenuti hanno mostrato che la fascia costiera del Golfo di Manfredonia è affetta da subsidenza, mentre per l'interno mancano dati attendibili. Il fenomeno si presenta in graduale aumento, in maniera pressoché continua, tra Manfredonia, che risulta stabile, e l'Ippocampo, dove si registrano i tassi più elevati, con valori fino ai 10 mm/anno per la serie ERS e superiori nella serie ENVISAT; in quest'ultima si raggiungono valori superiori ai 20 mm/anno per l'area più meridionale del villaggio turistico (TRIGGIANI *et alii*, 2009b; 2010). L'abitato di Zapponeta, per la sua posizione isolata, presenta valori leggermente più controversi ma caratterizzati dalla presenza di abbassamenti con velocità medie stimate in circa 7mm/anno per i dati delle serie ERS, e velocità leggermente superiori nella serie ENVISAT (TRIGGIANI, 2011).

Riscontri sull'attendibilità dei risultati ottenuti vengono dal confronto con quelli di altri due studi condotti utilizzando tecniche interferometriche su immagini

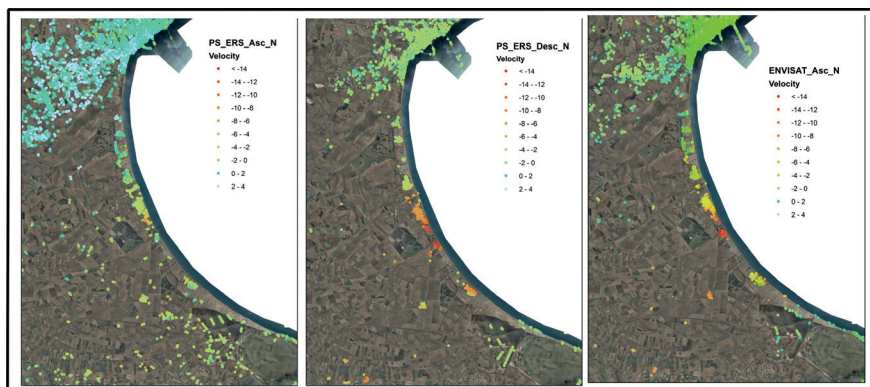


Fig. 52 - Mappe di velocità di deformazione nel Golfo di Manfredonia. Dati ERS ascendenti e discendenti 1992-2000 ed ENVISAT 2000-2008. Tratta da CALDARA et alii (2014)

ERS a scala nazionale. Si tratta del progetto VELISAR, condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, 2007) e del Piano Straordinario di Telerilevamento (PST) del MINISTERO DELL'AMBIENTE (2010), disponibile sul Geoportale Nazionale ([www.pcn.minambiente.it](http://www.pcn.minambiente.it)).

Si registra una sostanziale corrispondenza per i valori dei tassi di subsidenza registrati nei diversi progetti. In particolare, sia il progetto PST sia il VELISAR mostrano sull'area del villaggio Ippocampo tassi medi di 6 mm/anno, mentre per l'area meridionale a ridosso del villaggio i tassi di subsidenza misurati nel progetto ministeriale sono superiori ai 20 mm/anno. Anche sull'area di Zapponeta, sia il progetto VELISAR sia quello ministeriale mostrano un analogo *range* di velocità medie (TRIGGIANI, 2011).

In conclusione tutti gli studi concordano nel mostrare che la fascia costiera del Golfo di Manfredonia è affetta da subsidenza riscontrabile sia sulle serie ERS (1992-2000), che su quelle ENVISAT (2003-2008), con tassi apparentemente in leggero aumento nelle serie più recenti (Fig. 52).

Allo stato attuale sono state formulate solo delle ipotesi sulle probabili cause della subsidenza. Certamente l'area costiera è afflitta contemporaneamente da più tipologie di subsidenza, che potrebbero essere le seguenti (CALDARA et alii, 2014).

Una subsidenza naturale, connessa a fenomeni tettonici o isostatici, che si manifesta su tempi geologici. Per tale componente è stato calcolato, per la fascia costiera tra la foce del Cervaro e il Villaggio Ippocampo, negli ultimi 125 ka, un tasso massimo pari a 0,21 mm/anno (DE SANTIS et alii, 2010; 2013).

Una subsidenza naturale, più pronunciata, legata a fenomeni di compattazione dei sedimenti recenti sotto l'azione del carico litostatico, interessa i depositi olocenici con spessori intorno a 5-20 m.

Una subsidenza naturale ma indotta dagli interventi di bonifica delle aree paludose, che comporta fenomeni di compattazione dei sedimenti di colmata e interessa spessori ridotti e variabili, massimo di circa 3 m.

Una subsidenza antropica, più accelerata, connessa allo sfruttamento delle falde dell'acquifero poroso. Questo fenomeno interessa depositi che superano anche i 100 m di spessore in corrispondenza della costa, per cui assume un ruolo importante nella subsidenza costiera. In alcune zone, laddove manca l'irrigazione consortile, sono stati realizzati numerosi pozzi per l'emungimento delle acque necessarie alle colture orticole caratteristiche degli arenili del Golfo di Manfredonia, che hanno quindi concorso a determinare un preoccupante abbassamento del livello delle falde. Connessi all'attività dei pozzi vi sono anche i processi di consolidazione dovuti all'erosione e trasporto di particelle fini all'interno di pozzi mal realizzati, o che prelevano portate eccessive. Tale processo, definito "piping", determina un impoverimento tessiturale del suolo, con formazioni di vere e proprie cavità nel sottosuolo il cui collasso si può manifestare anche con deformazioni in superficie.

Una subsidenza antropica connessa al drenaggio superficiale delle aree paludose bonificate, che porta a ripetute variazioni del livello piezometrico, con conseguente consolidamento dei depositi limoso-argillosi organici. Inoltre, il drenaggio delle aree paludose porta all'ossidazione della materia organica con perdita di volume del materiale. Questo fenomeno interessa le aree costiere più interne e pochi metri di spessore.

Una subsidenza antropica, localizzata, dovuta al sovraccarico degli interventi edilizi.

Una subsidenza antropica, localizzata all'area di *saltmarsh*, dovuta al sovraccarico delle acque marine che stanno aumentando sempre più di spessore.

Nei pressi del villaggio Turistico Ippocampo il problema della subsidenza si sovrappone a quello del forte arretramento della linea di costa aggravato dall'assenza di dune e/o difese costiere (CALDARA *et alii*, 2008; 2010). Ne consegue che, in concomitanza di eventi meteo-marini anche di modesta entità, si assiste a sempre più frequenti alluvionamenti delle aree "retrodunari" subsidenti. Tale situazione che si è andata via via aggravando ha portato alla formazione di una *salt marsh* che di anno in anno diventa sempre più ampia (CALDARA *et alii*, 2014).

## 2. - EROSIONE COSTIERA

Il Golfo di Manfredonia rappresenta la naturale prosecuzione in mare del Tavoliere di Puglia. La sua tipica forma a falcata arcuata è stata raggiunta durante l'ultima trasgressione post-würmiana. I sedimenti che costituiscono le spiagge sono rappresentati da sabbie quarzoso-pirosenico-magnetitiche di origine appenninica (CALDARA *et alii*, 1998), derivanti principalmente dall'azione erosiva e di trasporto del Fiume Ofanto e da alcuni torrenti dauni (Carapelle, Cervaro e Candelaro) e



dall'azione di redistribuzione del moto ondoso e delle correnti lungo costa.

La costa bassa e sabbiosa, doveva essere bordata da una serie di cordoni dunari poco rilevati. Questi, nel tratto più a nord, sono visibili sotto le coperture dei depositi di colmata storici (Fig. 48), mentre nel tratto a sud, in corrispondenza dell'antico lago di Salpi, sono stati spianati nel tempo per colmare vecchie aree umide retrodunari e risultano oggi sostituiti, quasi *in toto*, da una ridotta duna artificiale a protezione delle aree ormai bonificate e intensamente coltivate o sfruttate a saline. Al largo, soprattutto verso Manfredonia, sono presenti uno o più ordini di barre sabbiose sommerse su una piattaforma continentale molto estesa (isobata 125 a circa 70 km dalla costa).

L'attuale progressivo innalzamento globale del livello medio marino e la locale subsidenza (naturale e indotta dall'uomo) hanno favorito un marcato arretramento costiero. A questi fattori si aggiunge la diminuzione degli apporti sedimentari del fiume Ofanto e dei torrenti dauni: infatti, in passato, il trasporto solido era copioso tanto da consentire (nel periodo 1872 - 1954) una progradazione della linea di riva tra Barletta e Manfredonia (CALDARA *et alii*, 1998); attualmente la tendenza si è invertita. Le cause della diminuzione degli apporti solidi dell'Ofanto (da 2,13 milioni di tonnellate nel 1935 a 203 mila tonnellate nel 1989) sono diverse: diminuzione delle precipitazioni medie annue, costruzione di numerose dighe e traverse lungo il fiume e i suoi affluenti, prelievo di inerti lungo l'alveo e captazione di acque per l'agricoltura (CALDARA, 1996). Il quadro attuale della dinamica litorale è di conseguenza caratterizzato dallo smantellamento dell'apparato deltizio ofantino e dal trasporto lungocosta dei sedimenti sia verso SE lungo la costa adriatica murgiana che verso NO lungo la costa del Tavoliere (CALDARA *et alii*, 1998). Un altro importante elemento che ha contribuito all'alterazione degli equilibri costieri è rappresentato dalla costruzione e/o ampliamento dei porti di Barletta e Margherita di Savoia (quest'ultimo ampliato nel 1972), creando di fatto una più piccola unità fisiografica costiera antropica dentro quella naturale del Golfo di Manfredonia. Infatti, il sedimento trasportato dalle correnti lungocosta, a causa della deviazione imposta dalla presenza dei moli, è stato in parte bloccato a ridosso delle opere portuali ed in parte disperso al largo. Di contro i fenomeni di arretramento sono divenuti più spinti nel tratto immediatamente a Nord del porto di Margherita fino quasi alla foce del Torrente Candelarò. A tutto ciò si aggiunge una forte subsidenza, la cui componente naturale è alquanto modesta, 0,21 mm/a (DE SANTIS *et alii*, 2010), mentre quella antropica è consistente, fino a 2 mm/a (CALDARA *et alii*, 2014).

Per contrastare l'arretramento della costa nel Golfo di Manfredonia si è fino ad oggi proceduto a contenere il fenomeno erosivo senza tentare di affrontare il problema nella sua globalità: le opere sono state progettate e realizzate solo su scala locale e da troppe figure (Amministrazioni Comunali, Consorzio di Bonifica della Capitanata, Genio Civile Opere Marittime e singoli privati), senza la necessaria



Fig. 53 - *Aspetto della costa a sud di Zapponeta.*

organicità negli interventi che tenga conto della reale unità fisiografica del Golfo di Manfredonia e della sua dinamica complessiva (CALDARA *et alii*, 2008).

Quindi, a partire dal molo settentrionale del porto di Margherita di Savoia, in un tratto di costa lungo 21,9 km sono state realizzate 317 opere di difesa: si tratta di barriere frangiflutto emerse e pennelli trasversali di varie forme (diritto, a “T” o ad “L”) con alle spalle gabbionate oppure scogliere costituite da blocchi calcarei sia ordinati che alla rinfusa.

La scelta di tipologia, dimensionamento e posizionamento di tali opere è stata fatta secondo criteri che troppo spesso paiono obbedire a logiche sociali e politiche piuttosto che a ragioni di natura fisico-dinamica: ubicazione dei diversi agglomerati urbani, degli stabilimenti balneari e, non ultime, di abitazioni sparse di privati che hanno provveduto in proprio alla difesa della proprietà (Fig. 53).

Le conseguenze di questi interventi sono state a volte più dannose del problema stesso; in linea generale, anche nel golfo di Manfredonia, si è ripetuto quanto già ampiamente osservato nei tratti costieri difesi da opere rigide: i tratti costieri adiacenti non difesi sono stati interessati da erosione accelerata che ha portato allo sfondamento delle gabbionate, ove presenti, e ad un profondo arretramento

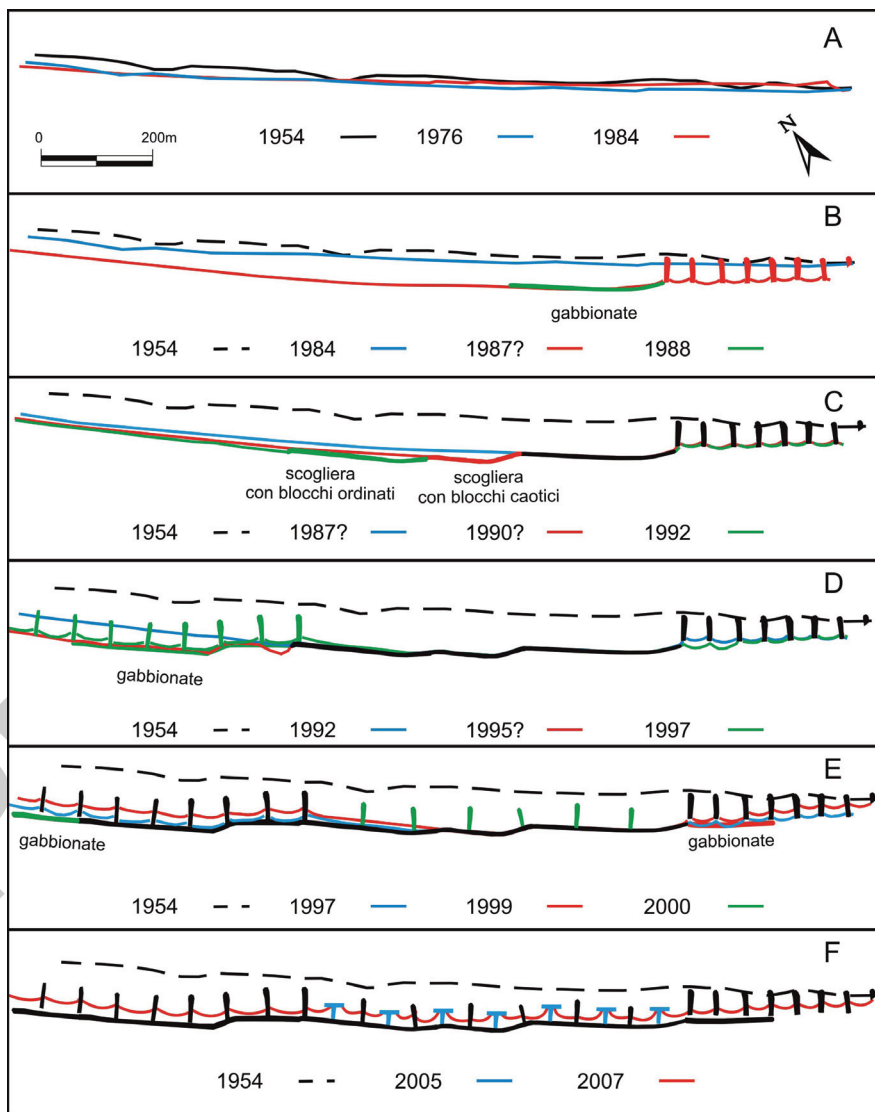


Fig. 54 - Arretramento della iniziale costa rettilinea, con i vari interventi di difesa costiera in località Mortella e formazione di una costa artificiale rocciosa con numerose falcature (da CALDARA et alii, 2008).

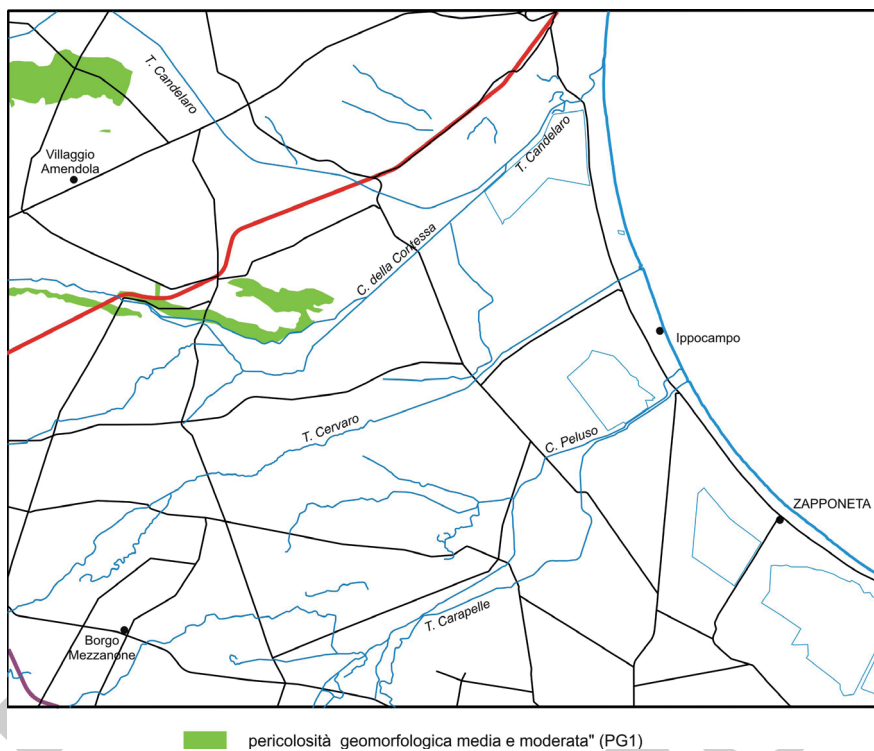


Fig. 55 - Pericolosità geomorfologica (fonte Autorità di Bacino della Puglia).

della linea di costa; i tratti costieri difesi da pennelli con interasse troppo ampio, hanno subito erosione e sfondamento delle gabbionate nella parte centrale della zona centrale tra un pennello e l'altro.

L'introduzione di tali strutture ha quindi sensibilmente modificato la fisionomia e la dinamica costiera, creando un costa artificiale prevalentemente rocciosa contraddistinta da numerose falcature. Un esempio di tale dinamica è visibile in località Mortella (Fig. 54).

Per concludere si deve mettere in evidenza che le opere fin qui realizzate hanno solo rallentato il generale fenomeno di arretramento costiero (CALDARA *et alii*, 2010).

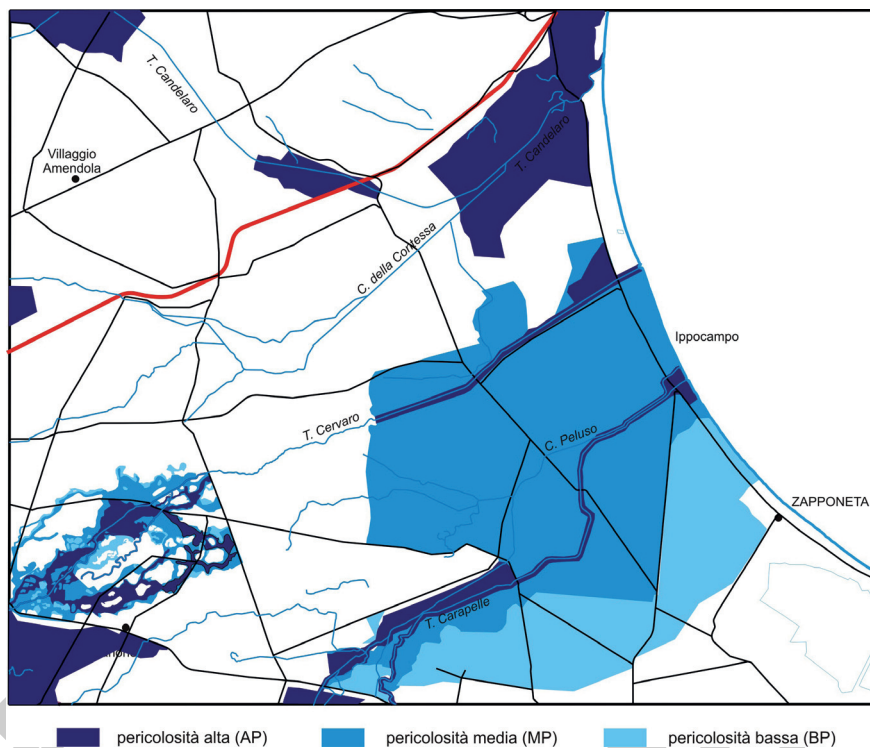


Fig. 56 - Pericolosità idraulica (fonte Autorità di Bacino della Puglia).

### 3. - PROPENSIONE AL DISSESTO IDROGEOLOGICO

#### 3.1 - FRANE

Nonostante la generale bassa acclività dei versanti, nell'area del Foglio "Zapponeta" sono presenti alcune zone in cui è possibile il verificarsi di dissesti franosi. Per la quasi totalità, queste aree sono state classificate dall'Autorità di Bacino della Puglia come "a pericolosità geomorfologica media e moderata" (PG1; [www.adb.puglia.it](http://www.adb.puglia.it)). I dissesti possono verificarsi lungo strette fasce (Fig. 56), presenti lungo i versanti che delimitano l'alto di Amendola interessando in prevalenza litotipi sabbiosi appartenenti al subsistema di Amendola (MLM<sub>1</sub>).

#### 3.2. - ALLUVIONI

Attualmente, tutti i principali corsi d'acqua ricadenti nell'area del Foglio sono

protetti da argini che generalmente superano i 3 m di altezza: questo limita gli episodi di esondazione dei corsi d'acqua; tuttavia, nelle aree costiere e in tutte le aree depresse a ridotto drenaggio, sono frequenti gli episodi di ristagno di acque meteoriche. In aggiunta, alcune aree costiere come quella del villaggio Ippocampo, sono sempre più frequentemente allagate da acque marine che penetrano nell'entroterra a seguito di mareggiate anche modeste (cfr. Par. 1).

Le aree a pericolosità idraulica alta (AP) corrispondono alle zone depresse che si sviluppano in corrispondenza dei torrenti Candelaro, Carapelle e Cervaro ([www.adb.puglia.it](http://www.adb.puglia.it)), e nelle aree costiere dell'Oasi Lago Salso e della palude Frattarolo. Altre aree di minore estensione a pericolosità alta si concentrano lungo incisioni fluviali presenti nel settore sud-orientale del Foglio riconducibili sia al Cervaro attuale che, in parte, a suoi tracciati attivi in passato (Fig. 56).

Una vasta area a pericolosità idraulica media (MP) è situata nella piana costiera, tra i torrenti Cervaro e Carapelle e si estende anche all'esterno dei due corsi d'acqua; altre aree di minore estensione a pericolosità media si concentrano lungo incisioni fluviali presenti nel settore sud-orientale del Foglio. Infine, un'area abbastanza vasta a pericolosità bassa (BP) è presenta a sud del torrente Carapelle.

### 3.3. - RISCHIO IDROGEOLOGICO

Il sito web dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia ([www.adb.puglia.it](http://www.adb.puglia.it)) mostra quelle che sono considerate zone a rischio di alluvione e frana. In linea di massima il rischio è concentrato lungo le maggiori vie di comunicazione (strade e ferrovie) e insediamenti abitati interessati da aree a pericolosità geomorfologica ed idraulica. In particolare, le due aree abitate più importanti a rischio idraulico alto o medio sono rispettivamente Borgo Mezzanone e il villaggio Ippocampo.

## 4. - RISORSE LITO-MINERALI E ATTIVITÀ ESTRATTIVE

L'area del Foglio "Zapponeta" non offre tipi litologici pregiati, in particolare per tutta la parte ricadente nella pianura del Tavoliere di Puglia, dove affiorano depositi alluvionali marini e/o continentali. In genere questi depositi si presentano con spessori modesti e marcata disomogeneità litologica, tutte caratteristiche che ne impediscono un redditizio sfruttamento. Al tetto e a varie altezze, i terreni superficiali sono interessati da orizzonti arricchiti in carbonato di calcio (crosta pugliese), che nell'immediato entroterra del Golfo di Manfredonia possono raggiungere spessori di diversi metri. Nell'angolo sud-orientale del Foglio (zona di Passo Breccioso) affiorano banchi di ghiaie sufficientemente spessi ed omogenei appartenenti alle unità TGF e RPL<sub>1</sub>, su cui in passato sono state aperte piccole cave; attualmente la zona è interessata da apertura di cave ad uso di discarica di



rifiuti solidi urbani per il bacino Foggia 3.

Ben più importante dal punto di vista estrattivo è il distretto pedegarganico: qui insistono numerose cave sia nel Calcarea di Bari (CBA<sub>1</sub>) che nella Calcarenite di Gravina (GRA). Le cave di calcareniti sono molto estese e attualmente tutte abbandonate: in particolare spiccano i distretti di Torre Tufara e Santa Lucia. Esse in passato sono state utilizzate per la produzione di concii per l'edilizia e, in tempi più recenti, per la produzione di materiale per sottofondi stradali.

Per quanto riguarda le cave in calcarea, anche esse sorgono numerose e di varie dimensioni; attualmente sono tutte abbandonate ad eccezione di cava De Bellis (VZ232, cfr. cap IV par. 2.1.1) dove si producono inerti calcarei per l'edilizia.

PROGETTO  
CARG

## X - STORIA DELL'ANTROPIZZAZIONE

La colonizzazione dell'area rientra in quella più generale della pianura del Tavoliere e non è stata facile poichè fatti storici e situazioni ambientali, intrecciandosi e influenzandosi vicendevolmente, hanno fortemente condizionato nello spazio e nel tempo l'insediamento umano, determinando un'alternanza di periodi d'abbandono e di periodi d'intenso popolamento (BOENZI *et alii*, 1995).

Le più antiche testimonianze del popolamento del Tavoliere sono riferibili al Neolitico antico, più precisamente ai primi secoli del VI millennio a.C. in cronologia calibrata (MANFREDINI & MUNTONI, 2005; FIORENTINO *et alii*, 2013). Si tratta dei famosi villaggi trincerati che raggiunsero il loro massimo splendore in Italia proprio nel Tavoliere. I siti erano villaggi la cui peculiarità morfologica principale era quella d'essere circondati da uno o più fossati concentrici circolari od ellittici che racchiudevano dei fossati a forma di C, i “*compounds*”, forse destinati a recinto per la raccolta notturna del bestiame, oppure a costituire una difesa da attacchi esterni portati da nemici e animali selvatici, oppure ancora i fossati potrebbero essere stati realizzati per drenare i terreni su cui sorgevano le capanne (CALDARA & PENNETTA, 1992). Riconosciuti per la prima volta durante le ricognizioni aeree sul Tavoliere, effettuate da BRADFORD (1949) nel corso della seconda guerra mondiale, ne sono stati contati, sulla base delle foto aeree dell'IGM del 1955, da ODETTI (1975), ben 1028. Per quanto riguarda l'area del Foglio “Zapponeta”, la letteratura specifica (TINÈ, 1983; JONES, 1987; BROWN, 1987,

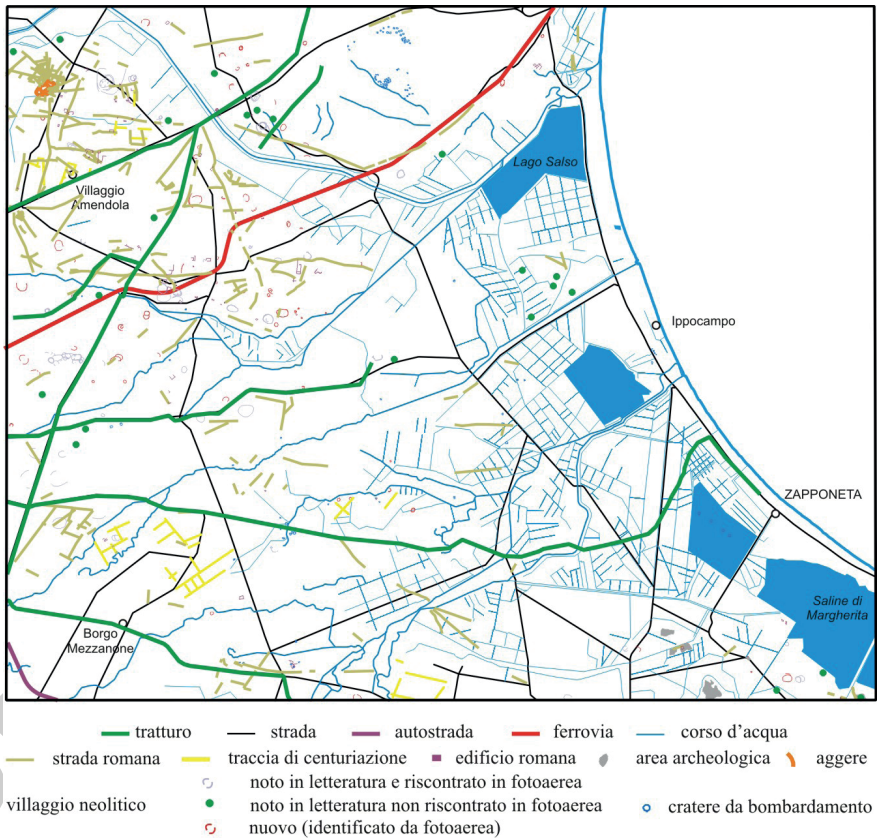


Fig. 57 - Elementi di storia dell'antropizzazione dell'area

2004) riporta 72 insediamenti trincerati, a cui si aggiungono altri 62 riconosciuti durante questo rilevamento geologico (Fig. 57, 58).

Gli insediamenti furono abbandonati quasi improvvisamente agli inizi del V millennio (Neolitico recente) quasi certamente per il sopraggiungere di condizioni climatiche aride (FIORENTINO *et alii*, 2013), ipotesi già avanzata da DELANO SMITH (1975) e confermata dal riconoscimento dei vari subambienti caratteristici delle *sabkha* (CALDARA & PENNETTA, 1993b; BOENZI *et alii*, 2002) con tutti i vari tipi di formazioni cristalline gessose ritrovati nella ex laguna di Salpi, presente nell'area del Foglio 409 "Zapponeta".

La fine della fase arida può essere collegata con il graduale ripopolamento degli insediamenti della piana costiera, in sostanza già nell'età del Bronzo (Coppa

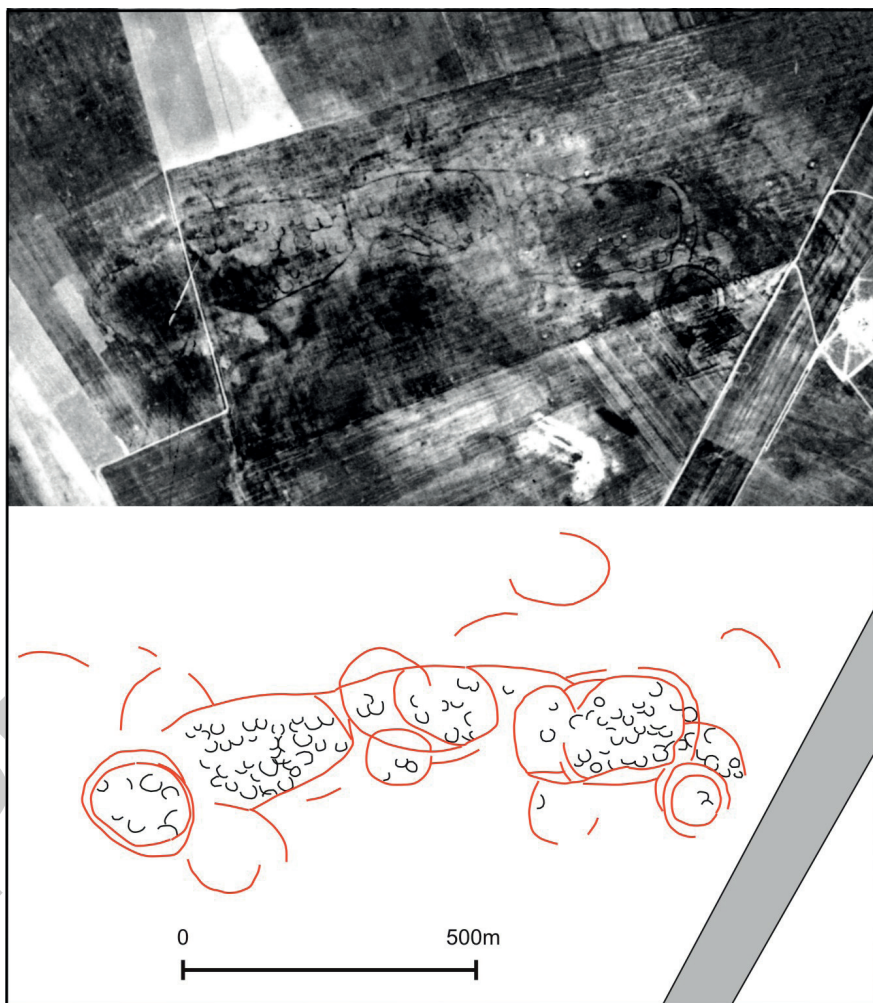


Fig. 58 - *Insedimenti neolitici trincerati, noti in letteratura come gli insediamenti di Scaramella - S. Vito (n. 18 Tinè 1983; n. 173 Jones 1987), (stralcio della strisciata 136a, fotogramma 7437 del volo IGM 1955).*

Navigata, Salapia dauna, Masseria Cupola). Gli abitati raggiungono, soprattutto nell'età del Ferro, dimensioni notevoli e modificano pesantemente il paesaggio (BOENZI *et alii*, 1995). Segni ancora oggi ben riconoscibili, quali un largo aggere e un sistema di strade molto fitto, caratterizzano la città dauna di Salapia.

Durante la dominazione romana il paesaggio agrario fu profondamente stravolto con

la realizzazione di centuriazioni e di numerose masserie (VOLPE, 1990); in questo periodo il sistema viario raggiunse il suo massimo splendore (ALVISI, 1990) e in gran parte ha costituito l'ossatura della rete viaria successiva.

Il periodo medievale fu caratterizzato da una prima fase di forte spopolamento durante il V-VIII sec. d.C., in concomitanza con le guerre gotico-bizantine e la successiva invasione longobarda. A partire da IX secolo, in concomitanza con la riconquista bizantina, si assiste ad una relativa ripresa demografica, con ripopolamento delle città costiere ed aumento della produzione agricola, con l'introduzione delle prime colture specializzate (olivo, vite). Tale processo di ripopolamento e ricolonizzazione delle campagne proseguì, seppur con alterne vicende, e si rafforzò durante la dominazione normanna, quando vengono fondati numerosi nuovi centri e si passa al sistema feudale. A questo periodo risalgono i cosiddetti *casalia*, ovvero delle masserie fortificate. Uno di questi *casalia* è l'insediamento di Masseria Petrullo, frequentato tra il XIII e il XIV secolo d.C.; esso è caratterizzato dalla presenza di due grossi fossati concentrici che delimitano piattaforme di terra nettamente rialzate rispetto al circostante piano di campagna, di forma approssimativamente quadrangolare o trapezoidale con gli angoli arrotondati (GOFFREDO, 2006).

I *casalia* scompaiono in genere alla fine del XIV secolo o agli inizi del secolo seguente, quando l'istituzione della Dogana delle Pecore favorì in parte lo spopolamento delle campagne e lo sviluppo di forme urbane accentrate di insediamento (VOLPE *et alii*, 2003). Infatti, è soprattutto durante la dominazione aragonese che la campagna subisce una violenta modificazione collegata allo sfruttamento degli ovini. Il territorio viene suddiviso in locazioni, vengono realizzate le poste (tipiche masserie attrezzate per la sosta e/o lo svernamento dei greggi), e la campagna viene adibita a pascolo con l'obbligo di abbattere gli alberi che dessero fastidio a questa pratica (distruzione del bosco di Salpi, precedentemente protetto da Federico II di Svevia; Caldara & Pennetta, 1992) e riservando ai campi coltivati aree ridotte.

Il recupero dell'agricoltura dapprima graduale e lento, accelererà con l'unità d'Italia (abolizione della dogana), ritornando il Tavoliere ad essere il granaio d'Italia. Quest'ultimo subirà una profonda trasformazione negli anni del boom economico del secondo dopoguerra, quando vennero messe a coltura vaste distese di incolti, grazie all'utilizzazione di potenti mezzi agricoli e soprattutto al sistema di frantumazione della "*crusta pugliese*"; ne conseguì che, al giorno d'oggi, le aree ove essa è rimasta integra sono ormai ridottissime.

Gli ultimi importanti interventi sul paesaggio nel Foglio 409 "Zapponeta" sono collegati alla storia dell'area costiera del Tavoliere di Puglia. A partire dall'*optimum* climatico olocenico (circa 6000 anni fa) l'area costiera era infatti interessata dalla presenza di una vasta laguna che, sul finire del II sec. a.C., fu divisa in due parti dalle alluvioni dei torrenti Cervaro e Carapelle (SCHMIEDT, 1973), dando vita a due bacini distinti: il Lago Salso a nord ed il Lago di Salpi a sud, che d'ora in poi

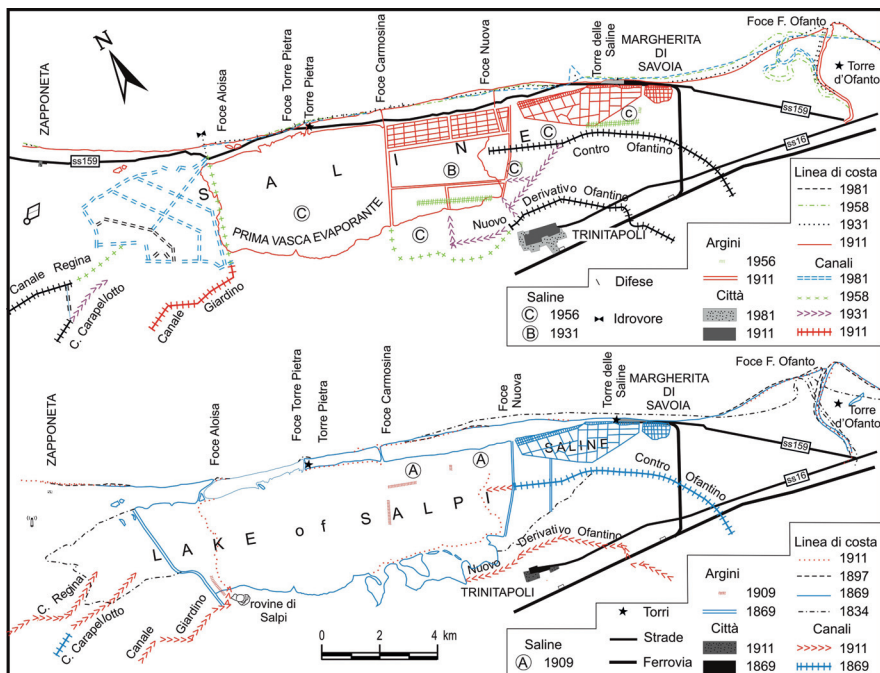


Fig. 59 - Sintesi dei principali interventi di trasformazione dell'area del Lago di Salpi a partire dal 1834 (mod. da: CALDARA et alii, 2002).

avranno due storie distinte. Il lago Salso vedrà la sua estensione progressivamente ridotta sia a causa di colmate naturali sia a causa di interventi di bonifica avvenuti a partire soprattutto dall'epoca borbonica: oggi ne restano solo due lembi residui che costituiscono l'oasi Lago Salso e la palude Frattarolo entrambe facenti parte del Parco nazionale del Gargano.

La storia del Lago di Salpi invece è più complessa poiché condizionata da esigenze diverse: monopolio del sale (istituito fin dal regno di Federico II), pesca, lotta alla malaria e sfruttamento agricolo-pastorale. Nel complesso, a partire dall'epoca borbonica e con un nuovo forte impulso dato dalla legge Serpieri-Iandolo sulla Bonifica Integrale nel 1933, dal Piano di Trasformazione Agraria del 1938 e dal Piano di Trasformazione Fondiaria del 1948, è stata avviata un'imponente opera di trasformazione dell'ex Lago di Salpi (Fig. 59). Le parti marginali dell'area sono state colmate e recuperate per l'agricoltura deviando sia le acque del T. Carapelle con il Canale Regina e Carapellotto, e sia del Fiume Ofanto con i canali Ofantino e Controfantino. La parte centrale dell'ex lago è stata definitivamente adibita alla produzione del sale marino (Saline di Margherita di Savoia).





*Fig. 60 - Cratere da bombardamento sede di uno specchio d'acqua nei pressi del Villaggio Turistico Ippocampo.*

Come elemento di curiosità relativo alla modifica antropica del paesaggio dell'area del Foglio 409 "Zapponeta", sono anche da segnalare le tracce, in alcuni casi visibili ancora oggi in foto aerea, di campi di volo e aeroporti risalenti alla seconda guerra mondiale con relative postazioni contraeree, oggi completamente smantellati e sostituiti da aree coltivate, nonché i numerosi crateri da bombardamento che, a volte, lungo la fascia costiera, hanno dato luogo alla formazione di piccoli laghetti circolari (Fig. 60).

## XI - ABSTRACT

The deposits cropping out in the Sheet 409 “Zapponeta” area date back from Mesozoic to Holocene.

The Mesozoic-lower Pleistocene units are referred to two main geological domains: the Apulia foreland carbonate units (Mesozoic) and the Bradanic Through units (Pliocene-lower Pleistocene). The middle Pleistocene-Holocene deposits units are grouped in the Tavoliere di Puglia supersynthem.

The first geological domain is represented by Calcare di Bari Formation (CBA), a carbonate unit deposited on the Apulia Platform. During the Cenozoic, the geologic history of the Apulia region is characterised by the formation of a chain-foredeep-foreland system, where the foreland was represented by the Apulia platform.

During the Plio-Pleistocene, the Apulian Foreland underwent two geodynamic phases (RICCHETTI *et alii*, 1992; DOGLIONI *et alii*, 1994, 1996). The first occurred from the middle Pliocene to the lower Pleistocene, when the western parts of the Apulian foreland underwent strong subsidence (approximately 2 mm/yr; DOGLIONI *et alii*, 1994) because of the subduction under the Apennine chain. During this phase, large areas of the foreland evolved into a foredeep, called Bradanic Trough, where the homonymous sedimentary cycle began to accumulate. The older unit belonging to Bradanic Trough cycle is the Calcarenite di Gravina (GRA), which unconformably lies on CBA. This unit was dated to the Zanclean-Piacenzian

pp. (Pliocene). The following unit is the argille subappennine (ASP) formation (not outcropping in the area of the sheet) which records the phase of maximum deepening of the Bradanic Trough and the first phase of the shallowing of the foredeep basin bottom. The upper part of this unit, reached by some boreholes, has been dated to MIS 15-13 and between biozone MNN19e and the upper part of biozone MNN19f.

The second geodynamic phase, which consists of the uplift of the entire Apulian foreland, began in the middle Pleistocene and it is still active (RICCHETTI *et alii*, 1992; DOGLIONI *et alii*, 1994, 1996). This uplift is recorded by the regressive deposits of the Bradanic trough cycle (among which the upper part of the argille subappennine and the sabbie di Torre Quarto unit; STQ) and/or by the following marine and/or continental terraced deposits.

The Tavoliere di Puglia supersynthem groups these marine and/or continental terraced units, which date back to middle Pleistocene-Holocene and are most of the deposits cropping out in the “Zapponeta” sheet. The boundary between the argille subappennine (ASP) formation and the overlying Tavoliere di Puglia supersynthem is one of the most important unconformities present in the area.

As said, within the Apulia Tavoliere supersynthem, other unconformities found on field and in boreholes allowed to separate several hierarchically organised Unconformity Bounded Stratigraphic Units (UBSU, SALVADOR, 1987, 1994).

They are, from oldest to youngest: i) Coppa Nevigata sands (NEA), dated to middle Pleistocene (MIS 17-16); ii) Coppa Nevigata synthem (NVI), dated to middle Pleistocene (MIS 12-11); iii) Masseria la Motticella synthem (MLM), which includes the Amendola subsynthem (MLM<sub>1</sub>) dated to middle Pleistocene (MIS 11); iv) Isola degli Olivi di Torelli synthem (IOT), dated to middle Pleistocene (MIS 9.3-7.1); v) Foggia synthem (TGF), dated to middle Pleistocene (MIS 6); vi) Masseria Finamondo synthem (TPF), referred to late Pleistocene; vii) Carapelle and Cervaro streams synthem (RPL), which includes the Incoronata subsynthem (RPL<sub>1</sub>), and Marane La Pidocchiosa-Castello subsynthem (RPL<sub>3</sub>). The former unit has been dated to late Pleistocene (MIS 5-3), the latter to Holocene; viii) the Masseria Inacquata synthem (NAQ), referred to Holocene.

All the above mentioned units are covered in patches by recent alluvial deposits (b<sub>p</sub>), slope cover deposits (a), littoral sands and silts (g<sub>2</sub>), saline (h<sub>2</sub>), present day alluvial deposits (b<sub>a</sub>), eluvial-colluvial deposits (b<sub>2</sub>), marsh deposits (e<sub>5</sub>) and anthropic deposits (h), all dating from late Pleistocene to Holocene. These deposits have been grouped as “ubiquitous units”; their identification and subdivision have been made on lithostratigraphic criteria.

In the submerged area, three units, outcropping on the bottom, have been recognised: organogenic lithoid bodies (g<sub>13</sub>), submarine beach (g<sub>8</sub>), and shelf deposit (g<sub>18</sub>). These three units are few meters thick; the first one belongs to the Holocene and, in more detail, the beginning of its formation can be placed in the

final stages of the last, post-Würmian, sea level rise. The other two units belong to the Holocene and, in more detail, to the current sea level highstand.

Apart from the literature, the chronological framework of the “Zapponeta” sheet terrains has been reconstructed mainly by using original data. Dates have been obtained through paleontological methods for argille subappennine (ASP) and Calcarene di Gravina (GRA) units, and by Amino Acid Racemization method (AAR) applied on ostracod shells, and radiometric analysis ( $^{14}\text{C}$ ) for all other units.

## XII - LEGEND

### UBIQUITOUS UNITS

#### ANTHROPIC DEPOSITS (h)

Deposits of non negligible thickness due to human activities; they include hystorical reclamation deposits and historical-archeological deposits. The former are made up of gray to light gray clay deposited as a result of river diversion works for reclamation of the coastal plain of the Tavoliere. The latter are due to the stratification of human artifacts of archaeological interest ranging in age from the Iron Age to Middle Age.

Age: Holocene

#### SALINE (h<sub>2</sub>)

Salt deposits due to human activity of production of sea salt. They occur inside the evaporation basins of the Margherita di Savoia saltworks.

Age: Holocene

## MARSH DEPOSITS ( $e_2$ )

Dark brown to black clayey and peat sediments referable to current and recent marshes, which occupy areas not affected by reclamation.

Age: Holocene

## BEACH DEPOSITS ( $g_2$ )

Grayish marine sands, passing off-shore into grayish silt and clayey silt, with a faunal content belonging to current biocoenosis of well-calibrated fine sands and muddy sands in sheltered areas (*sensu* PÉRÈS, 1967), deposited in an environment from backshore to proximal platform during the current highstand.

Age: Holocene

## ELUVIAL PRODUCTS AND COLLUVIAL DEPOSITS ( $b_2$ )

Brownish, locally reddish, silty and silty-clayey sediments, containing heterometric calcareous clasts. They result from the run-off of channeled water and/or *in situ* alteration of the substratum. The maximum thickness is a few metres.

Age: Holocene

## PRESENT DAY ALLUVIAL DEPOSITS ( $b_a$ )

Sandy-silty deposits from dark brown to yellowish, currently in deposition in the active riverbed and floodplains.

Age: Holocene

## RECENT ALLUVIAL DEPOSITS ( $b_b$ )

Conglomerates with calcareous, centimetric to decimetric sub-rounded clasts, occurring in well sorted and graded lenses with erosive pockets; these conglomeratic layers alternate with layers/or lenses of brownish to reddish fine sand and/or silt.

Age: Late Pleistocene - Holocene

## SLOPE COVER DEPOSIT ( $a$ )

Cemented heterometric breccias made up of calcareous angular clasts in reddish to brown clayey-silty matrix, with fabric ranging from mud-supported to clast-supported. Locally they look like "*breccia mortadella*".

Age: Late Pleistocene - Holocene



## DEPOSITS OF SUBMERGED AREA

### SUBMARINE BEACH ( $g_8$ )

Deposits consisting of grayish sands with with fauna indicative of a biocoenosis of well sorted fine sands (PÉRÈS, 1967) and fine sands in very shallow waters (PÉRÈS & PICARD, 1964) deposited in submerged beach environment. The unit belongs to the Holocene and, in more detail, to the current sea level highstand.

Age: Holocene

### SHELF DEPOSIT ( $g_{18}$ )

Clayey-silty or silty-clayey sediments, more rarely with sandy or gravelly component, almost always limited to the northernmost part of the the sheet.

The unit belongs to the Holocene and, in more detail, to the current sea level highstand.

Age: Holocene

### ORGANOGENIC LITHOID BODIES ( $g_{13}$ )

Lithoid bodies, composed of biogenic concretions (coralligenous) produced by local cementation of algae, bryozoans, serpulids and/or calcareous molluscs on coarse loose sediments or hardened sediments. The unit belongs to the Holocene; in more detail, the beginning of its formation can be placed in the final stages of the last post -Würmian sea level rise.

Age: Holocene

### PALINSEPT DEPOSIT ( $m_9$ )

Coarse to medium sands and, locally, weakly gravelly sands derived from erosion either of higher parts of the pre-würmian substrate, or from the current deposition. The unit belongs to the Holocene; in more detail, the beginning of its formation can be placed in the final stages of the last post -Würmian sea level rise.

Age: Holocene

### TAVOLIÈRE DI PUGLIA SUPERSYNTHEM (TP)

It includes alluvial deposits related to all the streams that run through the Tavoliere di Puglia, between the Fortore and Ofanto rivers, and marine terraced deposits outcropping in the same area.

**Masseria Inacquata synthem (NAQ)**

Depositional system related to the last sea level rise. Inland it is made up of alluvial deposits, passing towards the sea into coastal dunes and backshore/shoreface deposits. The alluvial deposits consist mainly of clay, sand and silt from dark brown to gray to yellowish, often with lamination from plane-parallel to wavy, mainly in sandy and silty layers containing continental fauna represented by terrestrial gastropods, including: *Ceriuella virgata* (DA COSTA) and *C. cisalpina* (ROSSMAESSLER). The shore deposits consist of gray sand with marine fauna belonging to current biocoenosis of well-calibrated fine sands and muddy sands in sheltered areas (*sensu* PÉRÈS, 1967), overlain by backshore and coastal dune sands. The lower boundary is an unconformity on the top of MLM, RPL, TPF, a, b<sub>1</sub>; the upper boundary coincides with the base of b, h, c<sub>3</sub> or with the topographic surface. Some datings performed with the <sup>14</sup>C dating method gave ages between 7.150±40 e 2.100±30 anni BP.

Age: Holocene

**Carapelle and Cervaro streams synthem (RPL)**

Alluvial deposits of the Carapelle and Cervaro streams, terraced and raised with respect to the current and holocenic floodplain, made up of gravelly-sandy-silty sediments. The lower boundary of the synthem is an unconformity which coincides with the top of MLM, TGF, STQ, or IOT units. The upper boundary is an unconformity which coincides with the base of NAQ, h, or the topographic surface. The synthem is divided, in the area of the sheet Zapponeta, into two subsystems.

Age: Late Pleistocene - Holocene

**Marane la Pidocchiosa-Castello subsystem (RPL<sub>3</sub>)**

Alluvial, mainly sandy-silty ash-gray deposits, characterised by plane-parallel or wavy laminae. Chronological indications by absolute datings and tephrostratigraphy performed in the near Sheet n. 422 "Cerignola", provided, respectively, the following ages: 4150 ± 40 years BP and 3500 - 3600 years BP (Avellino pumice).

Age: Holocene

**Incoronata subsystem (RPL<sub>1</sub>)**

The unit represents an alluvial plain depositional system to the west, passing towards the east into a lagoonal and infralittoral environment. The continental part consists of sand, silt, clay, and gravel interbedded with rare local sandstone layers. In the south western part of the sheet, at Passo Breccioso locality, the unit is mostly gravelly with interbedded sand and silt. The marine part, in the subsurface, consists of yellowish sand, gray-blue clayey or silty sand, gray-blue clay and silt, in which a *Cladocora caespitosa* (LINNEO) bioherm occurs, located at about -22 m b.s.l..

Datings with the amino acid racemization method applied to ostracod shells and with the  $^{14}\text{C}$  method applied to continental gastropods provided, for this unit, ages between  $134\pm 56$  and  $16\pm 4$  ky BP.

Age: Late Pleistocene

#### **Masseria Finamondo synthem (TPF)**

Fine gray to yellowish sand alternating with silt and clay, thinly laminated. The sedimentation environment is a low energy alluvial plain. The lower boundary is an unconformity on the top of MLM and TGF. The upper boundary is an unconformity underlying with the base of NAQ, a, b<sub>1</sub>.

Age: Late Pleistocene

#### **Foggia synthem (TGF)**

Unit consisting predominantly of gravel with variable cementation; the clasts are apenninic in origin, heterometric, subrounded to flattened, embedded in a gray-brown, silty-clayey matrix. Beds and lenses, of gray-brown sand, silty sand, sometimes graded, silt or clay are present. Within the gravel there are evident erosional surfaces mostly concave. Towards the east, only in borehole, the unit also contains limestone clasts, garganic in origin, and is characterised by a greater thickness of silty clayey lenses or beds. The sedimentary environment is a braided alluvial plain. The lower boundary is an unconformity on the top of the argille subappennine (occurring in the subsurface) ASP, IOT, and MLM; the upper boundary is an unconformity on the base of RPL and TPF. Datings with the method of amino acid racemization applied to ostracod shells provided the following ages:  $161\pm 16$  ky BP and  $146\pm 52$  ky BP.

Age: Middle-Late Pleistocene boundary

#### **Masseria la Motticella synthem (MLM)**

The deposits related to this synthem, widely cropping out in the nearby sheets n. 408 “*Foggia*” and 396 “*San Severo*”, occur almost exclusively on the Amendola morphologic high, where they are represented by the Amendola subsynthem (MLM<sub>1</sub>). The lower boundary is an unconformity on the local top of ASP or CBA<sub>1</sub>. The upper boundary is an unconformity on the base of IOT, TGF, RPL, TPF, NAQ, h, b<sub>1</sub>, a.

Age: Middle Pleistocene

#### **Amendola subsynthem (MLM<sub>1</sub>)**

Unconformity bounded unit consisting of typically tawny-orange or yellow ochre sands in which sandstone layers are included, mostly at coarser levels. Sometimes, fine levels of yellowish-ochre silt or clay can be found. The presence of a fine upper part is constant, mostly made up of tawny yellowish to brown clay or clayey silt, rich in white calcareous nodules due to evaporite precipitation.

The sedimentary environment is a very shallow marine (upper infralittoral zone); instead, the upper part is the result of the alteration of the underlying sand under sub-aerial conditions. Datings with the method of amino acid racemization applied to ostracod shells provided the following ages: 401±79 ky BP and 391±48 ky BP.

Age: Middle Pleistocene

#### **Masseria Coppa Nevigata synthem (NVI)**

The base consists of tawny or yellow-ochre sand, with a rare occurrence of polygenic centimeter-size pebbles. Upward, it merges into light yellow-ochre sandy or clayey silt or into clay, with some cemented layers forming marly limestones or marls. The uppermost part of the unit consists of yellow-ochre or tawny marly limestones and marls rich in external molds of *Abra* sp. and *Cerastoderma glaucum*, as well as centimeter-size lenses and levels of columnar stromatolites. The sedimentary environment is continental at the base; upwards, it passes gradually into a lagoonal, more and more open. The lower boundary is an unconformity on the top of CBA<sub>1</sub> or NEA; the upper boundary coincides with the topographic surface. Datings with the method of amino acid racemization applied to ostracod shells provided ages between 447±60 ky BP and 366±91 ky BP.

Age: Middle Pleistocene

#### **Coppa Nevigata sands (NEA)**

Gray to light brown, medium to fine-grained sands, with a layer of centimeter-size pebbles that are predominantly Garganic in origin at the base. Upward, the unit merges into silty clay or clayey silt. The sedimentary environment is shallow marine (infralittoral zone) with subsequent upward passage into a continental one. The lower boundary is an unconformity on CBA<sub>1</sub>. The upper boundary is an unconformity on the base of NVI or the topographic surface. Datings with the method of amino acid racemization applied to ostracod shells provided the age of 643±111 ky BP.

Age: Middle Pleistocene

### **BRADANIC THROUGH UNITS**

#### **Cerignola synthem (RGL)**

In this area, it is represented by one lithostratigraphic unit (STQ). The lower boundary, not outcropping, is an unconformity separating the Cerignola synthem from the argille subappennine ASP. The upper boundary is an unconformity at the base of RPL<sub>1</sub>.

Age: Middle Pleistocene

#### **Sabbie di Torre Quarto (STQ)**

Yellowish sand, usually poorly cemented, in layers of varying thickness from few centimeters to 50 centimeters, with interbedded sandstone, clayey, silty thin layers, sometimes marly. Sand is characterized by plane-parallel lamination intervals and by cross-stratified intervals. Datings with the method of amino acid racemization applied to ostracod shells provided the following ages: 411±85 ky BP and 360±41 ky BP.

Age: Middle Pleistocene

#### **Calcarene di Gravina (GRA)**

Light brown or pale yellow calcarenites and calcirudites, organised in banks of metric thickness with fabric that varies from grainstone to wackestone in which individuals or fragments of lamellibranchs are distinguishable, among which: *Isognomon maxillatus* (LAMARCK), *Chlamys latissima* (BROCCHI), *C. flexuosa* (POLI), *Hyotissa hyotis* (LINNEO); bryozoans, barnacles, echinoids, calcareous algae are also present. Rare planktonic and benthic foraminifera occur. At Angeloni - Santa Lucia locality, directly on the underlying CBA<sub>1</sub>, a basal facies crops out consisting of a calcirudite with calcareous clasts embedded in a coarse calcarenitic matrix. The lower boundary is an unconformity on the top of CBA<sub>1</sub>. The upper boundary is an unconformity underlying the base of b<sub>2</sub>, a, b<sub>b</sub>, or coincides with the topographic surface.

Age: Pliocene (Zanclean - Piacenzian *p.p.*)

### **MESOZOIC CARBONATE UNITS OF THE APULIAN PLATFORM**

#### **Calcare di Bari; Monte Calvo Gargano member CBA<sub>1</sub>)**

Micritic, dolomitic, oolitic and pseudoolitic limestones with macrofossiliferous (mollusks) levels. They occur in layers of varying thickness from few centimeters to few meters and in color from white, havana, to pink. The Calcare di Bari formation presents a typical cyclical organization of facies that, when complete, shows, from bottom to top: i) an erosional surface on the underlying limestone; ii) intraclast packstone, where clasts often retain the sedimentary structures of limestones which are below the erosional surface, iii) oolite packstone/graistone, typically gray colored, iv) packstone/wackestone with benthic foraminifera, green algae, peloids, in which macrofauna concentrates, if present v) loferitic wackestone/mudstone, sometimes with levels of vadose pisolites and mud crack. The most significant paleontologic content is represented by: *Campbelliella striata* (CAROZZI), *Clypeina jurassica* FARVRE e *Valvulina lugeoni* SEPTFONTAINE. The sedimentary environment is inner carbonate platform. The lower boundary does not crop out, the upper one coincides with the topographic surface or with an unconformity separating this unit from GRA, NEA, NVI, MLM, b<sub>2</sub>, a, b<sub>b</sub>, h.

Age: Late Jurassic (Kimmeridgian *p.p.*-Titanian)

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AA.VV. (2000) - *Attività conoscitive per l'elaborazione del Piano di Bacino Regionale*. Rapporto interno Regione Puglia realizzato dal Dipartimento di Geologia e Geofisica dell'Università degli Studi di Bari.
- AA.VV. (2009) - *Monitoraggio fisico degli interventi di difesa delle coste già finanziati e realizzati, misura 1.3 - Azione 2b e 4 del POR Puglia 2000-2006*. Rapporto interno Regione Puglia.
- AGIP (1986) - *Permesso Ortanova, Agip 100%*. Rapporto finale, 8 pp; 3 figg; 3 tavv.. S. Donato Milanese.
- ALVISI G. (1990) - *La viabilità romana della daunia*. Soc. Storia Patria per la Puglia, Documenti e Monografie, **35**: pp. 65, 51 figg., 9 tavv., Tipografia del sud, Bari.
- AMBROSETTI P., BOSI C., CARRARO F., CIRANI N., PANIZZA M., PAPANI G., VEZZANI L. & ZANFERRARI A. (1983) - *Neotectonic map of Italy*. C.N.R. Quaderni della ricerca Scientifica, **4** (111), 4 sheets.
- ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA (A.G.I). (1963) - *Nomenclatura geotecnica e Classifica delle Terre*. Rivista Italiana di Geotecnica **4** (63): 275-286.
- AURIEMMA R., MASTRONUZZI G. & SANSÒ P. (2004) - *Middle to late Holocene relative sea-level changes recorded on the coast of Apulia (Italy)*. Géomorphologie: relief, processus, environnement, **1**: 19-34, 3 figg., 6 foto, 1 tab.
- AZZAROLI A. (1968) - *Calcarenite di Gravina. Studi illustrativi della Carta Geologica d'Italia - Formazioni Geologiche*, Fasc. 1: 183-187.
- AZZAROLI A., PERNO U. & RADINA B. (1968a) - *Note illustrative del Foglio 188 "Gravina di Puglia" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000*. Serv. Geol. d'It., 57 pp., 6 figg., Roma.
- AZZAROLI A., RADINA B., RICCHETTI G. & VALDUGA A. (1968b) - *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia: Foglio 189 "Altamura"*. pp. 48, Serv. Geol. d'Italia, Roma.
- BALDUZZI A., CASNEDI R., CRESCENTI U., MOSTARDINI F. & TONNA M. (1984a) - *Il Plio-Pleistocene del sottosuolo del bacino lucano (Avanfossa Appenninica)*. Geol. Rom., **21** (1982): 89-111, 20 figg., Roma.
- BALDUZZI A., CASNEDI R., CRESCENTI U. & TONNA M. (1984b) - *Il Plio-Pleistocene del sottosuolo del bacino pugliese (Avanfossa Appenninica)*. Geol. Rom., **21** (1982): 1-28, 20 figg., Roma.
- BOENZI F. & CALDARA M. (1999) - *Il Gargano: l'uomo e l'ambiente geologico*. L'Universo **a.79**(6): 736-754, 10 figg., Firenze.
- BOENZI F., CALDARA M., MORESI M. & PENNETTA L. (2002) - *History of the Salpi lagoon-sabha ( Manfredonia Gulf, Italy)*. Italian Journal of Quaternary Science **14**(2) 2001: 93-104, figg 6 tabb. 3.
- BOENZI F., CALDARA M. & PENNETTA L. (1992) - *Osservazioni stratigrafiche e geomorfologiche nel tratto meridionale della piana costiera del Tavoliere di Puglia*. Geogr. Fis. Din. Quat. **14**(1): 23-31, 7 figg., Torino.
- BOENZI F., CALDARA M. & PENNETTA L. (1995) - *Il Metaponto e il Tavoliere: due piane dell'Italia meridionale nell'ambiente e nella storia*. Mem. Soc. Geogr. It. (1993), **53**: 337-358, figg. 7, tab.1, Genova.
- BOENZI F., CALDARA M., PENNETTA L. & SIMONE O. (2006) - *Environmental aspects related to the physical evolution of some wetlands along the Adriatic coast of Apulia (Southern Italy): a review*. Journal of Coastal Research **SI 39**, 170-175.



- BOENZI F., PALMENTOLA G., PIERI P. & VALDUGA A. (1971) - *Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000 fogli 165 "Trinitapoli" e 176 "Barletta"*. 33 pp., 1 tav., Serv. Geol. It., Nuova Tecnica Grafica, Roma.
- BONARDI G., D'ARGENIO B., DI NOCERA S., MARSELLA E., PAPPONE G., PERRONE V., PESCATORE T.S., SENATORE M.S., SGROSSO I., CIARANFI N., PIERI P. & RICCHETTI G. (1988) - *Carta Geologica dell'Appennino Meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., 41 (1988).
- BONI A., CASNEDI R., CENTAMORE E., COLANTONI P., CREMONINI G., ELMI C., MONESI A., SELLI R. & VALLETTA M. (1969) - *Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 155 "San Severo"*. Serv. Geol. It., 46 pp., Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (Napoli).
- BOSCI E., GUIDOBONI E., FERRARI G., VALENSISE G., MARIOTTI D. & GASPERINI P. (2000) - *Catalogue of strong Italian earthquakes from 461 B.C. to 1997*, *Ann. Geofis.* 43(4): 609-868 + CD-ROM.
- BOSELLINI A., MANTOVANI F., MORSILLI M., NERI C., & SCIROCCO G. (in stampa) - *Note illustrative del Foglio 384 "Vico del Gargano" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000*.
- BOSELLINI A., MORSILLI M. & NERI C. (1999) - *Long-term event stratigraphy of the apulia platform margin (upper Jurassic to Eocene, Gargano, Southern Italy)*. *Journal of Sedimentary Research*, 69: 1241-1252, 12 figg., Boulder.
- BOSELLINI A., NERI C. & LUCIANI V. (1993a) - *Guida ai carbonati cretaceo-eocenici di scarpata e bacino del Gargano (Italia meridionale)*. *Annali Univ. Ferrara*, n.s. sez. Sc. Terra, 4 suppl., 77 pp., figg. varie, Ferrara.
- BOSELLINI A., NERI C. & LUCIANI V. (1993b) - *Platform margin collapses and sequence stratigraphic organization of carbonate slopes: Cretaceous-Eocene, Gargano Promontory, Southern Italy*. *Terra Nova*, 5: 282-297, 14 figg., Malden.
- BRADFORD J.S.P (1949) - *Buried landscapes in southern Italy*, *Antiquity*, 23: 58-72.
- BROWN K.A. (1987) - Appendix VI: additional sites. In: G.D.B. JONES: "Apulia Vol. I: Neolithic Settlements in the Tavoliere" 220-222, 9 figg., London and Reading.
- BROWN K.A. (2004) - *Aerial Archaeology of the Tavoliere. The Italian Air Photographic Record and the Riley Archivi*. *Accordia Research Papers*, 9 (2001-2003): 123-146, London.
- BUCCA L. (1881) - *Appunti geologici sui Monti del Gargano, in provincia di Capitanata*. *Boll. Com. Geol. Ital.*, 12: 556-563, 1 fig., Roma.
- CALDARA M. (1996) - *Aspetti di geologia ambientale e di morfologia costiera in alcuni tratti del litorale nord-barese*. *Geologi*, suppl. 2/96 1996, 39-61.
- CALDARA M., CAPOLONGO D., DEL GAUDIO V., DE SANTIS V., PENNETTA L., MAIORANO P. & SIMONE O. (2011) - *Note illustrative del Foglio 422 "Cerignola" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000*, 92 pp., L.A.C., Firenze.
- CALDARA M., CAPOLONGO D., INFANTE M., MARSICO A. & PENNETTA L. (2010) - *Gli effetti delle modifiche alle difese costiere rilevate con la tecnologia laser scanner terrestre*. Terzo Simposio Internazionale "Il monitoraggio costiero mediterraneo: problematiche e tecniche di misura". Livorno, 15-17 giugno 2010, pp. 385-394, figg. 5, tav.1, CNR-IBIMET, Firenze.
- CALDARA M., CAPOLONGO D., PENNETTA L. & SIMONE O. (2008) - *Effetti negativi di una gestione costiera inefficace e scoordinata nel golfo di Manfredonia (Puglia, Italia meridionale)*. Secondo Simposio Internazionale "Il monitoraggio costiero mediterraneo: problematiche e tecniche di misura". Napoli, 4-5 giugno 2008, pp. 57-76, CNR-IBIMET, Firenze.
- CALDARA M., CAPOLONGO D., TRIGGIANI M. & REFICE A. (2014) - *La subsidenza delle piane costiere pugliesi*. *Geologia dell'Ambiente*, Supplemento al n. 2/2013: 30-36, figg.7.
- CALDARA M., CAROLI I. & SIMONE O. (2005b) - *Geomorphological changes due to human actions at Coppa Nevigata (Tavoliere di Puglia, Southern Italy) reconstructed through core analyses*. *Il Quaternario* 17(2/2)2004: 495-508, figg.4, Torino.
- CALDARA M., CAZZELLA A., FIORENTINO G., LOPEZ R., NARCISI B. & SIMONE O. (2001) - *Nuo-*

- vi dati sull'evoluzione paleoambientale nell'area di Coppa Nevigata (Foggia). Atti del 21° Convegno Nazionale sulla Preistoria, Protostoria e Storia della Daunia, S. Severo 25-26 Novembre 2000: 171-218, 6 figg., 6 tabb., Foggia.
- CALDARA M., CENTENARO E., MASTRONUZZI G., SANSÒ P. & SERGIO A. (1998) - *Features and present evolution of apulian coast (Southern Italy)*, Journ. Coastal Research (1998), SI 26, 55-64.
- CALDARA M., COLELLA A. & D'ALESSANDRO A. (1979) - *Studio sedimentologico e paleoecologico di alcune sezioni pleistoceniche affioranti presso Cerignola (FG)*. Riv. It. Pal. Strat., 5 (1): 173-242, 16 figg., 13 tabb., 13-14 tavv., Milano.
- CALDARA M. & GISSI F. (1993) - *Le "Biocalcarenti di Gravina" del margine ofantino delle Murge: considerazioni stratigrafiche, paleoambientali e tettoniche*. Bonifica, a. 8(3): 153-171, 15 figg., 2 tabb., Bastogi, Foggia.
- CALDARA M., IANNONE A. & BALDASSARRE G. (2006) - *Distribuzione e caratterizzazione delle calcareniti nell'area di Canosa di Puglia (Murge settentrionali)*. GEAM. Geoingegneria Ambientale e Mineraria, vol. speciale: 143-154, 4 figg., Torino.
- CALDARA M. & PALMENTOLA G. (1991) - *Lineamenti geomorfologici del Gargano con particolare riferimento al carsismo*. Itinerari speleologici, s. II, 5: 53-66, 3 figg., 3 foto, Castellana Grotte.
- CALDARA M. & PENNETTA L. (1991) - *Pleistocene buried abrasion platforms in southeastern "Tavoliere" (Apulia, South Italy)*. Il Quaternario, 4 (2): 303-309, 4 figg., 1 tab., Napoli.
- CALDARA M. & PENNETTA L. (1992) - *Interpretazione paleoclimatica di dati preistorici e storici relativi all'entroterra del Golfo di Manfredonia*. Mem. Soc. Geol. It., 42(1989): 197-207, figg. 5, tab. 1, Roma.
- CALDARA M. & PENNETTA L. (1993a) - *Nuovi dati per la conoscenza geologica e morfologica del Tavoliere di Puglia*. Bonifica, 8(3): 25-42, 12 figg., 1 tab., Bastogi, Foggia.
- CALDARA M. & PENNETTA L. (1993b) - *Ambienti aridi del tipo "Sabhka" nei sedimenti olocenici della piana costiera fra Manfredonia e Zapponeta*. Bonifica, 8(3): 73-82, figg. 5, Bastogi, Foggia.
- CALDARA M., PENNETTA L. & SIMONE O. (2002) - *Holocene Evolution of the Salpi Lagoon (Puglia, Italy)* Int. Coastal Symp., Templepatrick, Northern Ireland, March 25<sup>th</sup>-29<sup>th</sup> 2002, Journal of Coastal Research SI 36: 124-133, 9 figg., Lawrence.
- CALDARA M., PENNETTA L. & SIMONE O. (2005a) - *L'ambiente fisico nell'area dell'insediamento*. In: "Il Villaggio Neolitico di Masseria Candelaro" a cura di CASSANO S. & MANFREDINI S., cap. 3, 25-38, 8 figg., Grenzi editore, Foggia.
- CALDARA M. & SIMONE O. (2005) - *Coastal changes in the eastern Tavoliere Plain (Puglia, Italy) during the Late Holocene: natural or anthropic?* Quaternary Science Reviews 24/18-19, 2137-2145.
- CANAVARI M. (1886) - *Ellipsactinie di Monte Giano, del Gran Sasso, del Gargano e di Gebel Ersass in Tunisia*. Proc. Verb. Soc. Tosc. Sc. Nat., 5, Pisa
- CANTELLI C. (1960) - *Sul Quaternario di Gravina in Puglia*. - Giorn. Geol. Ann. Mus. Civ. Bologna, ser. 2, 28: 211-226, 1 tab., Bologna.
- CARISSIMO L., D'AGOSTINO O., LODDO C. & PIERI M. (1962) - *Le ricerche petrolifere dell'AGIP Mineraria e nuove in formazioni geologiche sull'Italia meridionale dall'Abruzzo al Golfo di Taranto*. VI Petrol. Int. Congr., 41 pp., Frankfurt am Mein.
- CARNICELLI S, FERRARI G.A., MAGALDI D., BILWILLER G., DI NOCERA S., PALMENTOLA G., PENNETTA L. & ZAMPARELLI V. (1989) - *Les accumulations carbonates de type "calcrete" dans les sols et formations superficielles d'Italie meridionale*. Medit., 68(2-3): 51-59, 4 figg., 3 photos, Marseille.
- CASERO P., ROURE F., ENDIGNOUX L., MORETTI I., MULLER C., SAGE L. & VIALLY R. (1992) - *Neogene geodynamics evolution of the southern Apennines*. Mem Soc. Geol. It., 41(1988): 109-120, 3 figg., 3 tavv., Roma.

- CASNEDI R. (1992) - *La Fossa Bradanica: origine, sedimentazione e migrazione*. Mem. Soc. Geol. It., **41**(1988): 439-448, 7 figg., Roma.
- CASNEDI R., CRESCENTI U. & TONNA M. (1984) - *Evoluzione della Avanfossa Adriatica meridionale nel Plio-Pleistocene, sulla base di dati di sottosuolo*. Mem. Soc. Geol. It., **24**(1982): 243-260, 10 figg., Roma.
- CATTANEO A., CORREGGIARI A., LANGONE L. & TRINCARDI F. (2003) *The late-Holocene Gargano subaqueous delta, Adriatic shelf: Sediment pathways and supply fluctuations*. Marine Geology, **193**: 61-91, 14 figg., Amsterdam.
- CATUNEANU O. (2002) - *Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls*. Journal of African Earth Sciences, **35**: 1-43, 45 figg., Oxford.
- CHECCHIA-RISPOLI G. (1916) - *I terrazzi delle pendici meridionali del Gargano*. La Geografia, a. IV (4-7): 255-259, Novara.
- CHECCHIA-RISPOLI G. (1912) - *Osservazioni geologiche sull'Appennino della Capitanata. Parte I*. Giorn. Soc. Sc. Nat. ed Econ., **29**: 105-116, Palermo.
- CHECCHIA-RISPOLI G. (1913) - *Osservazioni geologiche sull'Appennino della Capitanata. Parte II*. Giorn. Soc. Sc. Nat. ed Econ., **30**: 45-53, 1 fig., Palermo.
- CHECCHIA-RISPOLI G. (1914) - *Osservazioni geologiche sull'Appennino della Capitanata. Parte III*. Giorn. Soc. Sc. Nat. ed Econ., **30**: 277-284, 1 fig., Palermo.
- CHECCHIA-RISPOLI G. (1916) - *Osservazioni geologiche sull'Appennino della Capitanata. Parte IV*. Boll. Soc. Geol. It., **35**: 31-42, 1 fig., Roma.
- CHECCHIA-RISPOLI G. (1917) - *Osservazioni geologiche sull'Appennino della Capitanata. Parte V*. Boll. Soc. Geol. It., **36**: 79-98, 2 figg., 3 tavv., Roma.
- CHILOVI C., DE FEYTER A. & POMPUCCI A. (2000) - *Wrench zone in the adriatic Block: the example of the Mattinata Fault System (SE Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., **119**: 3-8, 6 figg., Roma.
- CHIOCCHINI M., FARINACCI A., MANCINELLI A., MOLINARI V. & POTETTI M. (1994) - *Biostratigrafia a foraminiferi, dasicladali e calpionelle delle successioni carbonatiche mesozoiche*. Studi Geol. Camerti, vol. Spec. (1994): 9-129.
- CIARANFI N. (1983) - *Osservazioni geologiche e morfologiche sull'entroterra del Golfo di Manfredonia (F° 164 I NO, I SO, IV NE, IV SE)*. Studi sul Neolitico del Tavoliere di Puglia. British Archaeological Reports, International series **160**: 203-222, 3 figg., Oxford.
- CIARANFI N., DAZZARO L., RAPISARDI L. & RICCHETTI G. (1980) - *Osservazioni preliminari sulla neotettonica dei Fogli 164 "Foggia", 165 "Trinitapoli" e 175 "Cerignola"*. Contr. Prel. Realiz. Carta Neot. d'It., Pubbl. n° 356 del P. F. Geodinam., 67-83, 10 figg., Napoli.
- CIARANFI N., GHISSETTI F., GUIDA M., IACCARINO G., LAMBIASE S., PIERI P., RAPISARDI L., RICCHETTI G., TORRE M., TORTORICI L. & VEZZANI L. (1983) - *Carta neotettonica dell'Italia meridionale* - CNR, Pubbl. N° 515 del P. F. Geodinamica, Bari.
- CIARANFI N., LOIACONO F. & MORETTI M. (2011) - *Note illustrative del Foglio 408 "Foggia" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000*. 73 pp., L.A.C., Firenze.
- CIARANFI N., PIERI P. & RICCHETTI G. (1992) - *Note alla carta geologica delle Murge e del Salento (Puglia centro-meridionale)*. Mem. Soc. Geol. It., **41**(1988): 449-460, 1 tav., Roma.
- CITA M.B. (1975) - *Studi sul Pliocene e gli strati di passaggio dal Miocene al Pliocene, VIII. Planktonic foraminiferal biozonation of the Mediterranean Pliocene deep-sea record: a revision*. Riv. It. Paleont. Strat., **81**:427-544, 3 figg., Milano.
- CLAPS M., PARENTE M., NERI C. & BOSELLINI A. (1996) - *Facies and cycles of the S. Giovanni Rotondo Limestones (Lower Cretaceous, Gargano Promontory, Southern Italy)*. Annali dell'Università di Ferrara, Sez. Scienze della Terra; suppl., **7**: 1-35.
- COLACICCO G. (1951) - *La carta delle acque sotterranee del Tavoliere*. Consorzio per la Bonifica della Capitanata, 164 pp., 16 figg., 5 tavv., Arti Grafiche Pescatore, Foggia.
- COLACICCO G. (1953) - *La carta delle acque sotterranee del Tavoliere - Osservazioni e perfora-*

- zioni eseguite nel biennio 1951-1952. 128 pp., varie tavv., Arti Grafiche Pescatore, Foggia.
- CORREGGIARI A., TRINCARDI F., LANGONE L. & ROVERI M. (2001) - *Styles of failure in heavily-sedimented highstand prodelta wedges on the Adriatic shelf*. Journal of Sedimentary Research **71**: 218-236, 16 figg., 1 tab., Boulder.
- CORTESE E. & CANAVARI M. (1884) - *Nuovi appunti geologici sul Gargano*. Boll. R. Com. Geol. d'It., s.II, **5**(7-8): 225-240; **5**(9-10): 289-304, 1 tav. Roma.
- COTECCHIA V. (1956) - *Gli aspetti idrogeologici del Tavoliere delle Puglie*. L'Acqua, **11-12**: 168-180, 4 figg., Roma.
- COTECCHIA V. & MAGRI G. (1966) - *Idrogeologia del Gargano*. Geol. Appl. e Idrogeol., **1**: 1-80, 40 figg., 10 tabb., 3 tavv., Bari.
- COTECCHIA V., FERRARI G., FIDELIBUS M. D., POLEMIO M., TADOLINI T. & TULIPANO L. (1995) - *Considerazioni sull'origine e rinnovabilità delle acque presenti in livelli sabbiosi profondi del Tavoliere di Puglia*. Quaderni di Geologia Applicata, 1/suppl.: 1163-1173, 8 figg., 1 tab., Bologna.
- CREMONINI G., ELMI C. & SELLI R. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 156 "S. Marco in Lamis"*. Serv. Geol. It., 66 pp., 2 figg., 1 carta, Nuova tecnica Grafica, Roma.
- CRESCENTI U. (1975) - *Sul substrato pre-pleistocenico dell'Avanfossa Appenninica dalle Marche allo Ionio*. Boll. Soc. Geol. It., **94**: 583-634, 12 figg., 2 tavv., Roma.
- D'ALESSANDRO A., LAVIANO A., RICCHETTI G. & SARDELLA A. (1979) - *Il Neogene del Monte Gargano*. Boll. Soc. Paleont. It., **18**(1): 9-116, 32 figg., 19 tavv., 1 tab, Modena.
- D'ARCHIAC É. & HAIME F. (1853) - *Description des animaux fossiles du groupe nummulitique, précédée d'un résumé géologique et d'une monographie des Nummulites*. 373 pp., Paris.
- D'ARGENIO B., FERRER, V., AMODIO S. & PELOSI N. (1997) - *Hierarchy of high-frequency orbital cycles in Cretaceous carbonate platform strata*. Sediment. Geol., **113**: 169-193.
- DE CASTRO P. (1987) - *Le facies di piattaforma carbonatica del Giurassico italiano: diffusione areale e lineamenti biostratigrafici*. Boll. Soc. Paleont. It., **26**(3): 703-730, Modena.
- DELANO SMITH C. (1975) - *Daunia vetus. Terra, vita e mutamenti sulle coste del Tavoliere*. 249 pp., 20 figg., Ed. Amministrazione Provinciale di Capitanata, Foggia.
- DEL GAUDIO V., PIERRI P. & CALCAGNILE G. (2009) - *Seismogenic zonation and seismic hazard estimates in a Southern Italy area (Northern Apulia) characterised by moderate seismicity rates*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. **9**: 161-174, 11 figg., 3 tabb., Gottingen.
- DEL GAUDIO V., PIERRI P., FREPOLI A., CALCAGNILE G., VENISTI N. & CIMINI G.B (2007) - *A critical revision of the seismicity of northern Apulia (Adriatic microplate - southern Italy) and implications for the identification of seismogenic structures*. Tectonophysics, **436** (1-4): 9-35, 10 figg., 5 tabb., Amsterdam.
- DE GIROLAMO A. M., LIMONI P. P., PORTOGHESE I. & VURRO M. (2001) - *Impiego di tecniche GIS per la valutazione e rappresentazione del bilancio idrogeologico a scala regionale*. Acqua, **2**: 57-70, 12 figg., 2 tabb., Roma.
- DE GIROLAMO A. M., LIMONI P. P., PORTOGHESE L. & VURRO M. (2002) - *Il bilancio idrogeologico delle idrostrutture pugliesi: sovrasfruttamento e criteri di gestione*. Acqua, **3**: 33-45, 10 figg., 5 tabb., Roma.
- D'ERASMO G. (1934) - *Il mare pliocenico nella Puglia*. Mem. Geol. e Geogr. G. Dainelli, **4**: 47-138, carte 2, Firenze.
- DE SANTIS V. & CALDARA M. (2015) - *The 5.5-4.5 kyr climatic transition as recorded by the sedimentation pattern of coastal deposits of Apulia region, southern Italy*. The Holocene, **25**(8): 1313-1329, 10 figg., 2 tabb.
- DE SANTIS V. & CALDARA M. (2016) - *Evolution of an incised valley system in the southern Adriatic Sea (Apulian margin): an onshore-offshore correlation*. Geological Journal, **51**(2):

- 263-284. DOI: 10.1002/gj.2628.
- DE SANTIS V., CALDARA M. & PENNETTA L. (2014a) - *The marine and alluvial terraces of Tavoliere di Puglia plain (southern Italy)*. Journal of Maps **10**(1): 114-125, 6 figg., 1 tab., London.
- DE SANTIS V., CALDARA M., PENNETTA L., TORRES T. & ORTIZ E. (2013) - *Unconformity-bounded stratigraphic units (UBSUs) in an Italian alluvial plain area: recognizing and dating*. Journal of Sedimentary Research: **83**: 96-114, 5 figg., 4 tabb., Boulder.
- DE SANTIS V., CALDARA M., TORRES T. & ORTIZ E. (2010) - *Stratigraphic units of the Apulian Tavoliere plain (Southern Italy): chronology, correlation with marine isotope stages and implications regarding vertical movements*. Sedimentary Geology, **228**: 225-270, 7 figg., 2 tabb., Amsterdam.
- DE SANTIS V., CALDARA M., TORRES T. & ORTIZ E. (2014b) - *Two middle pleistocenian warm stages in the Terraced Deposits of the Apulia Region (southern Italy)*. Quaternary International, **332**: 2-18, 9 figg., 1 tab., Oxford.
- DI GERONIMO I. (1984) - *Stabilità des peuplements benthiques et stabilité des bassins sédimentaires*. Geobios, Mém. **8**: 145-150.
- DI LONARDO G. (1935) - *Le acque sotterranee del Tavoliere foggiano con una carta a colori fuori testo*. Serv. Idrogr., Reg. Puglia, pubbl. n. 18 fasc. 1, 1-180, carta 1, Ed. Giuseppe Laterza & Figli, Bari.
- DOGLIONI C. (1991) - *A proposal for Kinematic modelling for W-dipping subductions - possible applications to the Tyrrhenian-Apennines system*. Terra Nova, **3**: 423-434, 8 figg., Malden.
- DOGLIONI C., MONGELLI F. & PIERI P. (1994) - *The Puglia uplift (SE Italy): an anomaly in the foreland of the Apenninic subduction due to buckling of a thick continental lithosphere*. Tectonics, **13**(5): 1309-1321, 9 figg., Washington.
- DOGLIONI C., TROPEANO M., MONGELLI F. & PIERI P. (1996) - *Middle-Late Pleistocene uplift of Puglia: an "anomaly" in the apenninic foreland*. Mem. Soc. Geol. It., **51**: 101-117, 13 figg., Roma.
- FINNEY S.C. (2010) - *Formal definition of the Quaternary System/Period and redefinition of the Pleistocene Series/Epoch*. Episodes, **33**: 159-163, 2 tabb., Bangalore.
- FIorentino G., CALDARA M., DE SANTIS V., D'ORONZO C., MUNTONI I.M., SIMONE O., PRIMAVERA M. & RADINA F. (2013) - *Climate changes and human-environment interactions in the Apulia region of southeastern Italy) during the Neolithic period*. The Holocene, **23**(9): 1297-1316.
- GIBBARD P.L., HEAD M.J., WALKER M.J.C. & THE SUBCOMMISSION ON QUATERNARY STRATIGRAPHY (2010) - *Formal Ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma*. Journal of Quaternary Science: **25** (2): 96-102.
- GOFFREDO R. (2006) - *Aerial archaeology in Daunia (Northern Puglia, Italy). New research and developments*. BAR, **1568**: 541-546, 5 figg., Oxford.
- GRASSI D. & TADOLINI T. (1992) - *Caratteristiche chimico-fisiche delle acque della falda carsica del Gargano*. CNR-GNDICI, **538**: 375-416, 6 figg., Brescia.
- GRAZIANO R. (1999) - *The early Cretaceous drowning unconformities of the Apulia carbonate platform (Gargano Promontory, southern Italy): local fingerprints of global palaeoceanographic events*. Terra nova, **11**: 245-250, 3 figg., Malden.
- GRUPPO DI LAVORO (2004) - *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003*. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- GUISCARDI (1856) - *Sulla Gargania brocchi, nuovo genere di mollusco in un calcare del Gargano*. Rend. e Atti d. Acc. d. Sc., **5**, n.s.,
- INGV (2007) - *Progetto velisar*. [http://kharita.rm.ingv.it/~gmaps/vel/-Index\\_IT.htm](http://kharita.rm.ingv.it/~gmaps/vel/-Index_IT.htm)
- INGV (2010) - *ISIDe, Italian Seismological Instrumental and parametric Data-base*. <http://iside>.



- rm.ingv.it/.
- INGV (2015) - ISIDe, Italian Seismological Instrumental and parametric Data-base. <http://iside.rm.ingv.it/>.
- JABOLI D. & ROGER A. (1954) - *Esquisse structurale de la Fosse Bradanique*. C.R. XIX Congr. Géol. Int., Alger 1952, **9** (9): 305-324, 5 figg., 1 tab., Alger.
- JACOBACCI A., MALATESTA A., MARTELLI G. & STAMPANONI G. (1967) - *Note illustrative del Foglio 163 "Lucera" della Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000*. Serv. Geol. It., 48 pp., 10 figg., La Litografica, Roma.
- JONES G.D.B. (1987) - *Apulia. Volume I: Neolithic Settlement in the Tavoliere*. Report of the Research Committee of the Society of Antiquaries of London, **44**.
- KAUFMAN D.S. (2000) - *Amino acid racemization in ostracodes*. In: GOODFRIEND G.A., COLLINS M.J., FOGEL, M.L., MACKO S.A. & WEHMILLER J.F. (EDS.), *Perspectives in Amino Acids and Protein Geochemistry*. Oxford Univ. Press, New York, pp. 145-160.
- KAUFMAN D.S. (2003) - *Dating deep-lake sediments with amino acid racemization in fossil ostracodes*. *Geology* **31**: 1049-1052.
- KAUFMAN D.S. (2006) - *Temperature sensitivity of aspartic and glutamic acid racemization in the foraminifera Pulleniatina*. *Quaternary Geochronology* **1**: 188-207.
- KAUFMANN D.S. & MANLEY W.F. (1998) - *A new procedure for determining DL amino acid ratios in fossils using reverse phase liquid chromatography*. *Quaternary Science Reviews* **17**(11): 987-1000.
- KOSNIK M.A. & KAUFMAN D.S. (2008) - *Identifying outliers and assessing the accuracy of amino acid racemization measurements for use in geochronology: II. Data screening*. *Quaternary Geochronology* **3**(4): 328-341.
- LAABS B.J.C. & KAUFMAN D.S. (2003) - *Quaternary highstands in Bear Lake Valley, Utah and Idaho*. *Geological Society of America Bulletin* **115**: 463-478.
- LAMBECK K., ANTONIOLI F., ANZIDEI M., FERRANTI L., LEONI G. & SILENZI S. (2011) - *Sea level change along the Italian coasts during Holocene and prediction for the future*. *Quaternary International* **232**: 250-257, 7 figg., 2 tabb., Oxford.
- LAMBECK K., ANTONIOLI F., PURCELL A. & SILENZI S. (2004) - *Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr*. *Quaternary Science Reviews*, **23**: 1567-1598, 12 figg., 1 tab., Oxford.
- LAVIANO A. & MARINO M. (1996) - *Biostratigraphy and paleoecology of upper Cretaceous carbonate successions in the Gargano Promontory*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **51**: 685-701, 9 figg. 1 tav., Roma.
- LOCATI M., CAMASSI R. & STUCCHI M. (a cura di), (2011) - *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11.
- LOTTI B. (1926) - *Carta geologica della Capitanata e regioni limitrofe*. In: EAAP "Prima relazione sull'attività dell'Ufficio speciale irrigazione". Maggio 1924-giugno 1925". Op. in 8, 5-7, carta 1, Laterza, Bari.
- LUPERTO SINNI E. (1996) - *Schema stratigrafico del Cretacico del Gargano basato sui risultati di recenti ricerche*. *Mem Soc. Geol. It.*, **51**: 1019-1036, 8 figg., 1 tab., Roma.
- LUPERTO SINNI E. & BORGOMANO J. (1994) - *Stratigrafia del Cretacico superiore in facies di scarpata di Monte Sant'Angelo (promontorio del Gargano, Italia meridionale)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **113**: 355-382, 15 figg., 4 tavv., Roma.
- LUPERTO SINNI E. & MASSE J.P. (1986) - *Données nouvelles sur la stratigraphie des calcaires de la plate-forme du Crétacé inférieur du Gargano (Italie méridionale)*. *Riv. It. Paleont. Strat.*, **92**: 33-66, 4 figg., Milano.
- LUPERTO SINNI E. & MASSE J.P. (1987) - *Données nouvelles sur la stratigraphie et la micropaléontologie des séries carbonatées de talus et de bassin du Crétacé inférieur du Gargano*



- (*Italie méridionale*). Riv. It. Paleont. Strat., **93**: 347-378, 5 figg., 4 tavv., Milano.
- LUPERTO SINNI E. & MASSE J.P. (1994) - *Precisazioni micropaleontologiche sulle formazioni di piattaforma carbonatica del Giurassico superiore e del Cretaceo basale del massiccio del Gargano (Italia meridionale) e implicazioni stratigrafiche*. Paleopelagos, **4**: 243-266, 9 figg., 4 tavv., Roma.
- MAGGIORE M., MASCIALE R., MASSARI R., PAPPAGALLO G., PASSARELLA G. & VURRO M. (2004) - *Caratteri idrostrutturali del Tavoliere di Puglia ed elaborazione di una carta geolitologica a finalità idrogeologiche*. Geologi e Territorio, **2** (2004): 6-16, 7 figg., Capurso (BA).
- MAGGIORE M., NUOVO G. & PAGLIARULO P. (1996) - *Caratteristiche idrogeologiche e principali differenze idrochimiche delle falde sotterranee del Tavoliere di Puglia*. Mem. Soc. Geol. It., **51**: 669-684, 12 figg., Roma.
- MAGGIORE M. & PAGLIARULO P. (2004) - *Circolazione idrica ed equilibri idrogeologici negli acquiferi della Puglia*. Geologia e Territorio. Suppl.1(2004): 13-35, 31 figg., 1 foto, Capurso (BA).
- MAGNY M., PEYRON O., SADORI L., ORTU E., ZANCHETTA G., VANNIERE B. & TINNER W. (2012) - *Contrasting patterns of precipitation seasonality during the Holocene in the south- and north central Mediterranean*. Journal of Quaternary Science, **27**: 290-296, 3 figg., Hoboken, New Jersey.
- MAIORANO P. & MARINO M. (2004) - *Calcareous nannofossil bioevents and environmental control on temporal and spatial patterns at the early-middle Pleistocene*. Marine Micropaleontology, **53**: 405-422, 8 figg., 2 tabb., Elsevier.
- MALATESTA A., PERNO U. & STAMPANONI G. (1967) - *Note illustrative del Foglio 175 "Cerignola" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000*. Serv. Geol. d'It., pp. 38, 7 figg., Ed. La Litograf, Roma.
- MALINVERNO A. & RYAN W.B.F. (1986) - *Extension in the Thirrhonian sea and shortening in the Apennines as result of arc migration driven by sinking of the lithosphere*. Tectonics, **5**: 227-245, Washington.
- MANFREDINI A. & MUNTONI I. (2005) - *Datazioni radiometriche*. In: "Il Villaggio Neolitico di Masseria Candelaro" a cura di CASSANO S. & MANFREDINI S., 463-465, 2 figg., 1 tab., Grenzi editore, Foggia.
- MANICONE M. (1806-1807) - *La fisica appula*. - Voll. 5, Napoli.
- MARTINIS B. & PAVAN G. (1967) - *Note illustrative del Foglio 157 "Monte S. Angelo" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000*. Serv. Geol. d'It., 56 pp., 8 figg., Ed. La Litograf, Roma.
- MASELLI V. & TRINCARDI F. (2013) - *Large-scale single incised valley from a small catchment basin on the western Adriatic margin (central Mediterranean Sea)*. Global and Planetary Change **100** (2013): 245-262, 15 figg., Amsterdam.
- MASSE J.P. & BORGOMANO J. (1987) - *Un modèle de transition plateforme-bassin carbonaté contrôlé par de phénomènes tectoniques: le Crétacé du Gargan (Italie Méridionale)* - C.R. Acad. Sc. Paris, **304**(10): 521-526, Paris.
- MASSE J.P. & LUPERTO SINNI E. (1987) - *A platform to basin transition model: the Lower Cretaceous carbonates of the Gargano Massif (Southern Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., **40**: 99-108, 6 figg., 3 tabb., Roma.
- MASTRONUZZI G. & SANSÒ P. (2002) - *Holocene coastal dune development and environmental changes in Apulia (southern Italy)*. Sedimentary Geology **150**: 139-152, 6 figg., 4 foto, 1 tab., Amsterdam.
- MATTAVELLI L. & PAVAN G. (1965) - *Studio petrografico delle facies carbonatiche del Gargano*. Rend. Soc. Mineral. Ital., **21**: 207-245, 4 figg., 3 tavv., Pavia.
- MENEGHINI G. (1884) - *Ellipsactinia del Gargano e di Gebel Ersas in Tunisia*. Proc. Verb. Soc. Tosc. Sc. Nat. **4** : 106-113.

- MERLA G., ERCOLI A. & TORRE D. (1969) - *Note illustrative del Foglio 164 "Foggia" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000*. Serv. Geol. d'It., 22 pp., 1 fig., Ed. Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (NA).
- MIGLIORINI C. (1937) - *Cenno sullo studio e sulla prospezione petrolifera di una zona dell'Italia meridionale*. II Congr. Mond. Petrol., Parigi, 10 pp, 2 figg., Roma.
- MINIERI V. (1955) - *Il significato paleoclimatico e l'età della "crosta calcarea" nell'area del Foglio 175 (Cerignola)*. Rend. Acc. Sc. Fis. Mat., s. 4, **22**: 149-154, 1 fig., Napoli.
- MINISTERO DELL'AMBIENTE (2010) - *Progetto Persistent Scatterers Interferometry*: [http://www.pcn.minambiente.it/-PCN/-progetto\\_psi1.php?lan=it](http://www.pcn.minambiente.it/-PCN/-progetto_psi1.php?lan=it)
- MINISTERO LAVORI PUBBLICI (1928) - *Le sorgenti italiane. Elenco e descrizione. Vol. I Regione Pugliese*. Pubbl.n. 14 del Servizio Idrografico, 130 pp., 1 carta, Provveditorato Generale dello Stato, Libreria, Roma.
- MINISTERO LAVORI PUBBLICI (1953) - *Le sorgenti italiane. Elenco e descrizione. Vol. I Regione Pugliese*. Pubbl.n. 14 del Servizio Idrografico, 163 pp., 1 carta, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.
- MONGELLI F. & RICCHETTI G. (1970) - *Heat flow along the Candelaro fault, Gargano headland (Italy)* - Geothermics, Special issue **2**(1): 450-458, 9 figg., Pisa.
- MONEGATTI P. & RAFFI S. (2001) - *Taxonomic diversity and stratigraphic distribution of Italian Pliocene bivalves*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **165**: 171-193, 6 figg., appendix A, Amsterdam.
- MONEGATTI P. & RAFFI S. (2007) - *Mediterranean-middle Eastern Atlantic façade: molluscan biogeography & ecobiostratigraphy throughout the late Neogene*. Açoreana, **5**: 126-139, 4 figg., Açore.
- MORETTI M., PIERI P., RICCHETTI G. & SPALLUTO L. (2011) - *Note illustrative del Foglio 396 "San Severo" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000*. Servizio Geologico d'Italia, 145pp., LAC, Firenze.
- MORSILLI M. & BOSELLINI A. (1997) - *Carbonate facies zonation of the upper Giurassic-lower Cretaceous appulia platform margin (Gargano promontory, southern Italy)*. Riv. It. Paleont e Strat., **103**: 193-206, 11 figg., Milano.
- MORSILLI M. (1998) - *Stratigrafia e sedimentologia del margine della Piattaforma Apula nel Gargano (Giurassico superiore-Cretaceo inferiore)*. Tesi di dottorato di ricerca, Università di Ferrara, 203pp., Librerie Nazionali di Roma e Firenze.
- MORSILLI M., DE COSMO P.D., BOSELLINI A. & LUCIANI V. (2002) - *L'annegamento santoniano della Piattaforma Apula nell'area di Apricena (Gargano, Puglia): nuovi dati per la paleogeografia del Cretacico superiore*. Atti della IX Riunione del Gruppo di Sedimentologia del CNR, Pescara, 21-22/10/2002: 63-64.
- MOSTARDINI F. & MERLINI S. (1988) - *Appennino centro meridionale: sezioni geologiche e proposta di modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It., **35**(1986): 177-202, 10 figg., 2 tabb., Roma.
- ODETTI G. (1975) - *Foto aerea e villaggi neolitici del Tavoliere*, Atti Coll. Intern. Preist. Protost. della Daunia, Foggia 24-29 Aprile 1973, 134-136, Firenze.
- OELTSCHNER H. & SIGL W. (1970) - *Sedimentologische Untersuchungen im Golf von Manfredonia (Südadria)*. Geologische Rundschau **60**(1): 131-144.
- OROMBELLI G., RAVAZZI C. & CITA B.M. (2005) - *Osservazioni sul significato dei termini LGM (UMG), tardoglaciale e postglaciale in ambito globale, italiano ed alpino*. Italian Journal of Quaternary Sciences **18**(2): 147-155, 1 fig., Verona Nichelino.
- ORTIZ J.E., TORRES T., JULIÀ R., DELGADO A., LLAMAS F.J., SOLER V. & DELGADO J. (2004) - *Numerical dating algorithms of amino acid racemization ratios from continental ostracodes. Application to Guadix-Baza basin (southern Spain)*. Quaternary Science Reviews **23**(5-6): 717-730, 6 figg., 7 tabb., Oxford.

- ORTIZ J.E., TORRES T. & LLAMAS, F.J. (2002) - *Cross-calibration of the racemization rates of leucine and phenylalanine and epimerization rates of isoleucine between ostracodes and gastropods over the Pleistocene in southern Spain*. *Organic Geochemistry* **33**: 691-699, 5 figg., 3 tabb., Oxford.
- PAGLIARULO P. (1996) - *Migrazione di fluidi profondi nel substrato prepliocenico del bacino apulo e lucano (avanzfossa appenninica)*. Mem. Soc. Geol. It.: **51**: 659-668, 10 figg., Roma.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (1989) - *Post-Tortonian mountain building in the Apennines. The role of the passive sinking of a relict lithospheric slab*. In: BORIANI A., BONAFEDE M., PICCARDO G.B. & VAI G.B. (Eds.): "*The lithosphere in Italy. Advances in Earth Science Research*". It. Nat. Comm. Int. Lith. Progr., Mid-term Conf. Atti Conv. Lincei, **80**: 157-176, 4 figg., 1 tav., Roma.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (2001a) - *Late thrust propagation and sedimentary response in the thrust belt-foredeep system of the Southern Apennines (Pliocene-Pleistocene)*. In: VAI G.B. & MARTINI I.P. (Eds.): "*Anatomy of an Orogen: The Apennines and adjacent Mediterranean Basins*". Kluwer Academic Publ., 404-440.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (2001b) - *Identificazione e valutazione di strutture sismogenetiche. Rapporto tecnico*. Convenzione ENEA - Dipartimento di Scienze della Terra Università di Pisa, Italy.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (2004) - *The Plio-Pleistocene thrust belt-foredeep system in the Southern Apennines and Sicily (Italy)*. Special Volume Italian Geological Society for the IGC 32 Florence-2004, 93-129, 19 figg., 3 tabb., Roma.
- PAVAN G. & PIRINI M. (1965) - *Stratigrafia del Foglio 157 "Monte S. Angelo"* - Boll. Serv. Geol. It., **86**: 1-43, 12 figg., Roma.
- PELTIER W.R. & FAIRBANKS R.G. (2006) - *Global glacial ice volume and Last Glacial Maximum duration from an extended Barbados sea level record*. *Quaternary Science Reviews*, **25**: 3322-3337, 6 figg., 1 tab., Oxford.
- PEIRANO A., MORRI C., BIANCHI C.N., AGUIRRE J., ANTONIOLI F., CALZETTA G., CAROBENE L., MASTRONUZZI G. & ORRU P. (2004) - *The Mediterranean coral *Cladocora caespitosa*: a proxy for past climate fluctuations?* *Global and Planetary Change*, **40**: 195-200.
- PEYRON O., MAGNY M., GORING S., JOANNIN S., DE BEAULIEU J.L., BRUGIAPAGLIA E., SADORI L., GARFI G., KOULI K., IOAKIM C. & COMBOURIEU-NEBOUT N. (2013) - *Contrasting patterns of climatic changes during the Holocene across the Italian Peninsula reconstructed from pollen data*. *Climate of the Past*, **9**: 1233-1252, 8 figg., 1 tab.
- PÉRÈS J.M. (1967) - *The Mediterranean benthos*. *Oceanography Marine Biology Annual Review*, **V**: 449-533, 11 figg., 7 tabb., London.
- PÉRÈS J.M. & PICARD J. (1964) - *Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée*. Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, **XIV**(23) : 1-114, 9 figg., 6 tabb., Marseille.
- PICARD J. (1965) - *Recherches qualitatives sur les Biocoenoses marines des substrats meubles dragables de la région marseillaise*, Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, **DII**(36), pp. 1-102, 11 figg., 8 tabb., Marseille.
- PILLA L. (1840) - *Relazione diretta all'Intendente di Capitanata sopra la struttura geologica del M. Gargano*. *Giorn. Atti Soc. Econ. di Capitanata*, **5**: 100-109, Foggia.
- POSTPISCHL D. (1985) - *Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes*. CNR, Progetto finalizzato Geodinamica: risultati finali. Quaderni della Ricerca Scientifica, **114**, 2A, pp. 166, Roma.
- PRIMAVERA M., SIMONE O., FIORENTINO G. & CALDARA M. (2011) - *The palaeoenvironmental study of the Alimini Piccolo lake enables a reconstruction of Holocene sea-level changes in southeast Italy*. *The Holocene*, **21**(4): 553-563, 5 figg., London.
- RAFFI I., BACKMAN J., FORNACIARI E., PÄLIKE H., RIO D., LOURENS L. & HILGEN F. (2006) - *A re-*

- view of calcareous nannofossil astrobiochronology encompassing the past 25 million years.* Quaternary Science Reviews, **25**: 3113-3137, 8 figg., 5 tabb., Elsevier.
- RAFFI S. & MONEGATTI P. (1993) - *Bivalve taxonomic diversity throughout the Italian Pliocene as a tool for climatic oceanographic and stratigraphic inferences.* Ciencias da Terra (UNC), **12**: 45-50, 2 figg., Lisboa.
- REGIO UFF. GEOL. (1910a) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 165 "Trinitapoli"*. R. Uff. Geol. It., Roma.
- REGIO UFF. GEOL. (1910b) - *Carta Geologica d'Italia. F. 176 "Barletta"*. R. Uff. Geol. It., Roma.
- REGIO UFF. GEOL. (1928a) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 156 "San Marco in Lamis"*. R. Uff. Geol. It., Roma.
- REGIO UFF. GEOL. (1928b) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 157 "Monte Sant'Angelo"*. R. Uff. Geol. It., Roma.
- REGIO UFF. GEOL. (1932) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 155 "San Severo"*. R. Uff. Geol. It., Roma.
- REGIO UFF. GEOL. (1934) - *Carta Geologica d'Italia. Foglio 164 "Foggia"*. R. Uff. Geol. It., Roma.
- RICCHETTI G. (1967) - *Lineamenti geologici e morfologici della media valle del fiume Basento.* Boll. Soc. Geol. It., **86**: 607-622, 11 figg., Roma.
- RICCHETTI G. (1981) - *Contributo alla conoscenza della Fossa Bradanica e delle Murge.* Boll. Soc. Geol. It., **99** (1980): 421-430, 1 fig., 1 tav., Roma.
- RICCHETTI G., CIARANFI N., LUPERTO SINNI E., MONGELLI F. & PIERI P. (1992) - *Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'avampese apulo.* Mem. Soc. Geol. It. **41** (1988): 57-82, 15 figg., Roma.
- RIO D., RAFFI I. & VILLA G. (1990) - *Pliocene-Pleistocene distribution patterns in the Western Mediterranean.* In KASTENS K.A., MASCLE J. et alii, 1990. Proceeding of ODP, Scient. Results, **107**: 513-533, 10 figg., 3 tabb., Texas.
- RIO D., SPROVIERI R., CASTRADORI D. & DI STEFANO E. (1998) - *The Gelasian stage (Upper Pliocene): a new unit of the global standard chronostratigraphic scale.* Episodes: **91**: 82-87, 4 figg., Bangalore.
- RIO D., SPROVIERI R. & RAFFI I. (1984) - *Calcareous plankton biostratigraphy and biochronology of the Pliocene-Lower Pleistocene succession of the Capo Rossello area (Sicily).* Marine Micropaleontology, **91**: 135-180, 19 figg., 2 tabb., Amsterdam.
- RIZZI ZANNONI (1783) - *La Capitanata tratta dalle carte del sig. Rizzi Zannoni.* Antonio Zatta, Venezia.
- ROVIDA A., CAMASSI R., GASPERINI P. & STUCCHI M. (a cura di) (2011) - *CPTIII, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani.* Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTIII
- ROYDEN L., PATACCA E. & SCANDONE P. (1987) - *Segmentation and configuration of subducted lithosphere in Italy: An important control on thrust belt and foredeep-basin evolution.* Geology, **15**: 714-717, 5 figg., USA.
- ROSI M. & SBRANA A. (eds.) (1987) - *Phlegrean Fields.* Quaderni de "La ricerca scientifica", **114** (9): pp. 1-176, CNR, Roma.
- SACCO F. (1910) - *L'Appennino meridionale* - Boll. Soc. Geol. It., **29**: 287- 368, 1 carta, Roma.
- SACCO F. (1911) - *La Puglia. Schema geologico* - Boll. Soc. Geol. It., **30**: 551- 593, 1 carta, Roma.
- SACCO F. (1912) - *La geotettonica dell'Appennino meridionale* - Boll. Soc. Geol. It., **31**: 379-387, 1 carta, Roma.
- SALVADOR A. (1987) - *Unconformity-bounded stratigraphic unit.* Geol. Soc. Am. Bull. **98**: 232-237, 1 fig., USA.

- SALVADOR A. (1994) - *International Stratigraphic Guide. A Guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure*. The International Union of Geological Sciences and the Geological Society of America (eds.), pp 214.
- SANTACROCE R. (eds) (1987) - *Somma Vesuvius*. Quaderni de "La ricerca scientifica", **114** (8): 252 p., CNR, Roma.
- SHELLMANN G. & RADTKE U. (2004) - *A revised morpho- and chronostratigraphy of the Late and Middle Pleistocene coral reef terraces on Southern Barbados (West Indies)*. Earth-Science Reviews **64** (2004): 157-187, 5 figg., 2 tabb., Amsterdam.
- SCHMIEDT G. (1973) - *Contrinuto della fotografia aerea alla ricostruzione della antica laguna compresa fra Siponto e Salapia*. Archivio Storico Pugliese, **26**: 160-172, 4 figg..
- SELLA M., TURCI C. & RIVA A. (1992) - *Sintesi geopetrolifera della Fossa Bradanica (Avanfossa della Catena Appenninica Meridionale)*. Mem. Soc. Geol. It., **41** (1988): 87-107, 29 figg., Roma.
- SELLI R. (1962) - *Il Paleogene nel quadro della geologia dell'Italia centro-meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., **3**: 737-789, 1 fig., Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1963) - *Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 175 "Cerignola"*. Serv. Geol. d'It., Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1966) - *Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 188 "Gravina in Puglia"*. Serv. Geol. d'It., Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1968a) - *Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 165 "Trinitapoli"*. Serv. Geol. d'It., Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1968b) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 189 "Altamura"*. Serv. Geol. d'Italia, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1969) - *Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 164 "Foggia"*. Serv. Geol. d'It., Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1970) - *Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 176 "Barletta"*. Serv. Geol. d'It., Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1992) - *Carta geologica d'Italia 1:50.000, Guida al Rilevamento*. Quaderni del Servizio Geologico, serie III, **1**, 203 pp., Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1995) - *Carta Geologica d'Italia 1:50.000 - Guida all'informaticizzazione*. Quaderni del Servizio Geologico, serie III, **3**: 130 pp., Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1996) - *Carta Geologica d'Italia 1:50.000 - Guida alla rappresentazione cartografica*. Quaderni del Servizio Geologico, serie III, **2**: 97 pp.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1997) - *Carta Geologica d'Italia 1:50.000 - Banca dati geologici. Linee guida per l'informaticizzazione e per l'allestimento per la stampa della banca dati*. Quaderni del Servizio Geologico, serie III, **6**: 142 pp.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2000) - *Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Catalogo delle Formazioni. Unità validate*. Quaderni del Servizio Geologico, serie III, **7**(1): 228 pp.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2002) - *Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Catalogo delle Formazioni. Unità non validate*. Quaderni del Servizio Geologico, serie III, **7** (2): 281 pp.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2003a) - *Carta geologica d'Italia - 1:50.000 - Catalogo delle formazioni Fascicolo V - Unità validate*. Quaderni del Servizio Geologico, serie III, **7**(5): 210 pp.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2003b) - *Guida italiana alla classificazione e alla terminologia stratigrafica*. Quaderni del Servizio Geologico, serie III, **9**: 156 pp.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2009a) - *Carta geologica d'Italia 1:50.000, progetto Carg: modifiche ed integrazioni ai quaderni n. 2/1996 e n. 6/1997*. Quaderni del Servizio Geologico, serie III, **12**(1): 166 pp.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2009B) - *Carta geologica d'Italia 1:50.000, progetto Carg: Linee*



- guida per il rilevamento geologico, la cartografia e l'informatizzazione dei dati delle aree marine*. Quaderni del Servizio Geologico serie III, **12** (2): 28 pp.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2009c) - *Carta geologica d'Italia 1:50.000, progetto Carg: modifiche ed integrazioni al Quaderno n. 1/1992*. Quaderni del Servizio Geologico serie III, **12**(3): 54 pp.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2011a) - *Carta Geologica dei Mari Italiani, Foglio NK33-8/9 "Bari"*; ISPRA, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2011b) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, F. 422 "Cerignola"*. Serv. Geol. d'It., Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2011c) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, F. 369 "San Severo"*. Serv. Geol. d'It., Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2011d) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, F. 408 "Foggia"*. Serv. Geol. d'It., Roma.
- SIGL W. (1973) - *Der Golf von Manfredonia (Sudliche Adria). I. Die fazielle Differenzierung der Sedimente*. Senckenbergiana maritima, **5**: 3-49, 14 figg., 3 tavv., Frankfurt a. M.
- SIMONE O. (2003) - *Evoluzione olocenica e dinamica ambientale delle piane costiere pugliesi*. PhD in Geomorfologia e Dinamica Ambientale cicloXVI. Università degli Studi di Bari, 171 pp.
- SOGESID S.p.A. (2009) - *Piano di Tutela delle Acque - Relazione generale*. Regione Puglia, Area Politiche per l'Ambiente, le Reti, la Qualità Urbana - Servizio Tutela delle Acque, 287 pp..
- SPALLUTO L. (2004) - *La Piattaforma Apula nel Gargano centro-occidentale: organizzazione-stratigrafica ed assetto della successione mesozoica di piattaforma interna*. Tesi di dottorato in Scienze della Terra. Università degli Studi di Bari, 173 pp.
- SPALLUTO L. & MORETTI M. (2006) - *Evidenze di neotettonica (Pliocene medio - Pleistocene superiore) nel settore occidentale del promontorio del Gargano (Italia meridionale)*. Il Quaternario, **19** (1): 143-154, 7 figg., Torino.
- SPALLUTO L., PIERI P. & RICCHETTI G. (2005) - *Le facies carbonatiche di piattaforma interna del Promontorio del Gargano: implicazioni paleoambientali e correlazioni con la coeva successione delle Murge. (Italia meridionale, Puglia)*. Boll. Soc. Geol. It. **124**: 675-690, 7 figg., 1 tab., Roma.
- SPROVIERI R., DI STEFANO E., HOWELL M., SAKAMOTO T., DI STEFANO A. & MARINO M. (1998) - *Integrated calcareous plankton biostratigraphy and cyclostratigraphy at Site 964*. In: Robertson A.H.F., Emeis K.C., Richter C. & Camerlenghi A. (eds): *Proceedings of the Ocean Drilling Program: Scientific Results*, **160**. College Station, (TX): 155- 165, 9 figg., 3 tabb..
- TELLINI A. (1890) - *Le Nummuliti della Maiella, delle Isole Tremiti e del Promontorio Garganico*. Boll. Soc. Geol. It., **9**(2): 358-418, 4 tavv., Roma.
- TINÈ S. (1983) - *Passo di Corvo e la civiltà neolitica del Tavoliere*. Sagep, Genova, Italia.
- TORRES T., LLAMAS J., CANOIRA L., GARCIA-ALONSO P., GARCIA-CORTES A. & MANSILLA H., (1997) - *Amino acid chronology of the Lower Pleistocene deposits of Venta Micena (Orce, Granada, Andalusia, Spain)*. Organic Geochemistry, **26**(1-2): 85-97, 9 figg., 4 tabb., Oxford.
- TRAMONTE R. (1955) - *Contributo allo studio delle acque sotterranee di Capitanata*. - Voll. **3**; 1, 48 pp.; 2, 98 pp.; 3, 12 tavv., Laterza, Bari.
- TRIGGIANI M. (2011) - *Le tecniche di interferometria radar applicate allo studio della subsidenza nel Golfo di Manfredonia (FG)*. Tesi di Dottorato in Geomorfologia e Dinamica Ambientale ciclo XXIII, Università degli Studi di Bari, 92 pp., ISBN 978-88-7522-039-6.
- TRIGGIANI M., REFICE A., CAPOLONGO D., BOVENGA F. & CALDARA M. (2009a) - *Studio della Subsidenza nel Golfo di Manfredonia (FG) con Ausilio di Tecniche D-InSAR*. Atti 13 Conferenza Nazionale ASITA, Bari 1-4 dicembre 2009, 1795-1800, 4 figg., ISBN 978-88-903132-2-6.
- TRIGGIANI M., REFICE A., CAPOLONGO D., BOVENGA F. & CALDARA M. (2009b) - *Investigation of*



- subsidence in the Manfredonia Gulf (Southern Italy) through multitemporal DInSAR techniques*. Geophysical Research Abstracts, **11**, EGU2009-7341-1, 2009EGU General Assembly 2009.
- TRIGGIANI M., REFICE A., CAPOLONGO D., BOVENGA F. & CALDARA M. (2010) - *Investigation of Subsidence in the Manfredonia Gulf (Southern Italy) Through Multitemporal DInSAR Techniques*, Proc. FRINGE 2009, ESA SP-677, Frascati, Italy, 30 Nov. - 4 Dec. 2009, 7 figg., [http://earth.eo.esa.int/workshops/fringe09/proceedings/papers/p2\\_53trig.pdf](http://earth.eo.esa.int/workshops/fringe09/proceedings/papers/p2_53trig.pdf)
- TRINCARDI F., ARGNANI A. & CORREGGIARI A. (2011a). - *Note illustrative della Carta Geologica dei Mari Italiani, alla scala 1:250.00, Foglio NK33-6 Vieste, e Foglio NK33-8/9 Bari*. ISPRA: Roma.
- TRINCARDI F., ASIOLI A., CATTANEO A., CORREGGIARI A. & LANGONE L. (1996) - *Stratigraphy of the late-Quaternary deposits in the Central Adriatic basin and the record of short-term climatic events*. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. **55**: 39-70, 8 figg., 1 tab., Bologna.
- VEZZOLI L. (eds.) (1988) - *Island of Ischia*. Quaderni de "La ricerca scientifica", **114** (10): 132 p., CNR, Roma.
- VIOLA C. & CASSETTI M. (1893) - *Contributo alla geologia del Gargano*. Boll. R. Com. Geol. d'It., s. III, **4**: 101-129, 2 tavv., Roma.
- VOLPE G. (1990) - *La Daunia nell'età della romanizzazione. Paesaggio agrario, produzione, scambi*. Adrias **1**: 298 pp., Edipuglia, Bari.
- VOLPE G., ROMANO A.V. & GOFFREDO R. (2003) - *Archeologia dei paesaggi della Valle del Celone*. Atti 23° Convegno Nazionale sulla Preistoria - Protostoria - Storia della Daunia, San Severo, 23-24 novembre 2002, 349-391, Centro Grafico s.r.l., Foggia.
- WESTGATE J.A. & GORTON M.P. (1981) - *Correlation techniques in tephra studies*. In: SELF S. & SPARKS R.S.J. (Eds), *Tephra Studies*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, pp. 73-94.
- ZAZO C. (1999) - *Interglacial sea levels*. Quaternary International **55**: 101-113, 2 figg., 2 tabb., Oxford.
- ZORZI L. & REINA C. (1956) - *Sulla presunta idrografia sotterranea profonda della Capitanata*. Geotecnica, **1**: 27-35, 1 fig., 2 tabb., 1 tav., Milano.