



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI  
FACOLTA' DI SCIENZE  
LAUREA IN SCIENZE GEOLOGICHE

STRATIGRAFIA DEL PLIOCENE DI CAPO MANNU (SINIS, SARDEGNA OCCIDENTALE):  
OSSERVAZIONI DI TERRENO E DATI DI SOTTOSUOLO

Tesi di Laurea di Francesco Putzolu

Relatore: Prof. Luciano Lecca

Anno accademico 2015 – 2016

## Indice

1-INTRODUZIONE .....	3
1.1-INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO DELL' AREA .....	3
1.2-CRISI DI SALINITÀ MESSINIANO .....	6
1.3-IL PLIOCENE DEL SINIS .....	7
1.3.1-Capo S. Marco .....	8
1.3.2-Capo Mannu .....	8
2-DESCRIZIONE DI TERRENO .....	10
2.1-SEQUENZA PLIOCENICA DI PUNTA SA FIGU .....	11
2.2-SEQUENZA TIRRENIANO - OLOCENICA .....	15
3-SONDAGGIO CAPO MANNU 1 .....	20
3.1-TECNICA DI PERFORAZIONE .....	20
3.1.1-Funzionamento della trivella.....	20
3.1.2-Classi di qualità dei campioni e problematiche di estrazione .....	21
3.1.3-Problematiche "Rivestimento della carota" .....	23
3.2-RICONOSCIMENTO DELLE UNITÀ CAROTATE .....	26
3.2.1-Osservazioni al microscopio binoculare.....	27
3.3-RICOSTRUZIONE DELLA COLONNA STRATIGRAFICA (0-15 m) DEL CAROTAGGIO CM1 .....	32
4-DISCUSSIONE .....	36
4.1-DIFFICOLTÀ DI RICONOSCIMENTO DI TERRENO.....	36
4.2-DIFFICOLTÀ DI RICONOSCIMENTO NELLA CAROTA .....	37
4.3-DIFFICOLTÀ DI RICONOSCIMENTO DELLE MICROFACIES .....	37
4.4-DISCORDANZA TRA IL MESSINIANO E IL PLIOCENE.....	38
4.5-TRANSIZIONE DA FACIES MARINE A FACIES EOLICHE .....	39
5-CONCLUSIONI .....	42
BIBLIOGRAFIA .....	43

## 1-INTRODUZIONE

Con la finalità di migliorare le conoscenze stratigrafiche sulla sequenza pliocenica presente sotto Capo Mannu, avendo come obiettivo finale la verifica della stratigrafia del Sinis, già descritta nella Carta Geologica d'Italia, F 528 Oristano ([http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/528\\_ORISTANO/Foglio.html](http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/528_ORISTANO/Foglio.html)), sono stati eseguiti due sondaggi a carotaggio continuo Capo Mannu 1 (CM1) e Capo Mannu 2 (CM2) ubicati a Punta Sa Figu e a Sa Mesa Longa, sotto la direzione de Prof. Luciano Lecca (coordinatore della parte marina del suddetto foglio).

Durante le attività di questa tesi si è partecipato all'esecuzione e alla descrizione di cantiere di entrambi i sondaggi (CM1 e CM2) alle ricognizioni di terreno circostanti i punti di carotaggio ma nella fase di descrizione le attenzioni sono state rivolte, anche per motivi di tempo, maggiormente al CM1.

Più in particolare l'obbiettivo di questa tesi è quello di descrivere i caratteri di una parte-della sequenza pliocenica attraversata dai sondaggi e di ricostruire i rapporti delle unità affioranti nei dintorni del punto di perforazione CM1.

L'interesse stratigrafico, oltre alle descrizioni delle facies sedimentarie e di un primo riconoscimento del loro contenuto fossilifero, è rappresentato dai rapporti della sequenza pliocenica e di quella messiniana tramite la discordanza pliocenico-messiniana correlata alla fase evaporitica messiniana del Mediterraneo.

### 1.1-INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO DELL'AREA

Cartograficamente il Comune di San Vero Milis ricade nella carta topografica d'Italia IGM al foglio 514. II "San Vero Milis" e 514 sez. III "Capo Mannu", in scala 1:25000; nella Carta Tecnica Regionale (C.T.R) alle sezioni 100 – 130 – 140 – 150 – 160 del foglio 514 e alle sezioni 020 – 030 – 040 del foglio 528 in scala 1:10000.

La Penisola del Sinis è ubicata all'estremità nord-occidentale del graben campidanese ed è separata dalla fossa di Oristano da un sistema di faglie dirette con direzione circa N-S di notevole rigetto, fra Cala Saline e Cala su Pallosu, a Nord-Ovest del villaggio balneare di Putzu Idu si trova il promontorio di Capo Mannu (Figura 1).



Figura 1 - Parte settentrionale della Penisola del Sinis. I sondaggi sono stati effettuati rispettivamente a Nord e a Sud del promontorio di Capo Mannu.

L'assetto geomorfologico del Sinis settentrionale è stato condizionato dall'azione dei movimenti tettonici plio-pleistocenici che hanno dato origine al graben del Campidano e dalle variazioni climatiche pleistoceniche.

La Carta geologica d'Italia 1:100.000 Foglio 205-206 Capo Mannu – Macomer mostra nel Sinis una sequenza miocenica marina che poggia su rocce andesitiche (Figura 2).

$\alpha m$  = Formazione "andesitoide" superiore le quali fungono da base per l'intera successione Miocenica.

Tale successione veniva distinta in:

$Mc$  = Calcari organogeni, calcari detritici più o meno arenacei sempre fossiliferi del Langhiano-Serravalliano.

$M$  = Argille marne e calcari ad *Amussium Cristatum*, *Arca diluvii* del Messiniano.

$Pd$  = Arenarie e sabbie dunari con paleo-suoli a vertebrati del Pliocene.

$Cgs$  = Sabbie e conglomerati continentali "pre-basaltici" del Pliocene.

$Qe$  = Sabbie dunari più o meno cementate wurmiane con resti di cervidi ( $qd$  nel F. Oristano).

$Qt$  = Crostoni calcarei teneri, raramente lapidei travertinosi di ambientazione palustre ( $qtd$  nel F. Oristano).

$Aa$  = Alluvioni recenti ed attuali; aree acquitrinose sulle "piattaforme" basaltiche.

$Am$  = Sabbie attuali e recenti delle spiagge passanti a dune costiere non cementate.

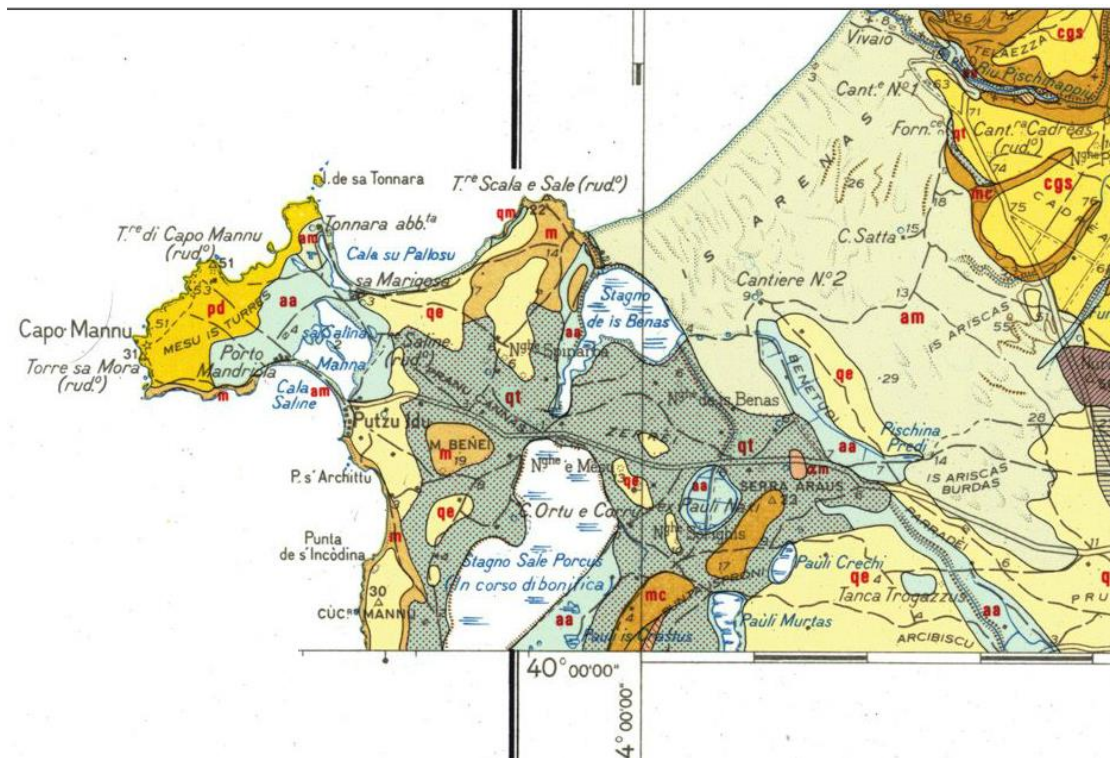


Figura 2 - Carta geologica d'Italia 1:100.000 Foglio 205-206 Capo Mannu – Macomer.

Sull'intera area del Sinis e più nello specifico nell'area di Capo San Marco, in termini di affioramento si possono osservare in successione “deposizionale” 4 principali unità (Cherchi *et alii*, 1978):

- A. Basamento oligo-miocenico<sup>1</sup>
- B. Miocene superiore<sup>2</sup>
- C. Pliocene inferiore trasgressivo<sup>3</sup>
- D. Vulcaniti e coperture plio-pleistoceniche<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Il basamento oligo-miocenico, tettonizzato già prima della successione tardo miocenica, è costituito da andesiti Perda Martigiana (Di Battistini *et al.*, 1974) e da andesiti e relativi tufi a Costa Atzori. Su queste vulcaniti poggiano termini sedimentari marini attribuibili al Miocene inferiore-medio (A. CHERCHI *et alii*, 1978).

<sup>2</sup> È costituito da sedimenti marini del Tortoniano e del Messiniano inferiore e da sedimenti di facies lagunare e continentale pure messiniani affioranti alla base della falesia di Capo San Marco. I depositi tortoniani sono rappresentati da argille grigio-scure sapropelitiche con frequenti cristalli di pirite cubica, indicanti ambiente riducente di mare ristretto. Sono frequenti foraminiferi planctonici fra questi abbondano *Orbulina universa* d'Orbigny, *Globorotalia acostaensis* Blow, *Globigerina apertura* Cushman, *G. nepenthes* Todd, *Globigerinoides obliquus extremus* Bolli & Bermudez (Cherchi *et alii*, 1978).

<sup>3</sup> I sedimenti pliocenici sono rappresentati in un piccolo affioramento ubicato all'estremità sud-occidentale di Capo San Marco, avente uno spessore di una trentina di metri circa; alla base è presente una breccia costituita da clasti a elementi messiniani, cui seguono argille siltose, calcari argilloso-arenacei e arenarie argillose (Cherchi *et alii*, 1978)

<sup>4</sup> Le prime sono rappresentate dalle colate basaltiche di Capo S. Marco, Costa Randada, Roja Sa Murta e con dubbio dal laccolite di Nuraghe S'Argara. I basalti sono sicuramente successivi al Pliocene inferiore, in quanto Capo S. Marco ricoprono i sedimenti di questa età, per il laccolite di S'Argara si può solo affermare che è posteriore al messiniano inferiore (Cherchi *et alii*, 1978).

La parte Nord-occidentale del Sinis è il risultato di una serie di processi che, a partire dall'Oligocene e per tutto il Miocene ed il Pliocene, a seguito di una di una fase geodinamica di profondo mutamento paleogeografico del Mare Mediterraneo, hanno portato alla genesi e all'evoluzione del rift Sardo. Quest'ultimo, parallelo a quello del Mediterraneo occidentale è sede del bacino sedimentario oligo-miocenico, che si estende longitudinalmente da Nord (Golfo dell'Asinara) a Sud (Golfo di Cagliari) per una lunghezza complessiva di circa 220 km.

Il rift oligo-miocenico sardo "fossa sarda" (Vardabasso, 1963) è distinguibile dal graben del Campidano di età plio-quadernaria. Quest'ultimo si estende per circa 100 km con direzione NW-SE dal golfo di Oristano a quello di Cagliari.

Le faglie plio-quadernarie hanno parzialmente riattivato quelle oligo-mioceniche lungo il bordo orientale del massiccio paleozoico dell'Iglesiente-Sulcis.

Il graben del Campidano si è dunque originato da movimenti tettonico distensivi che hanno interessato il Mediterraneo nel periodo plio-quadernario, tali eventi hanno di seguito determinato per le formazioni impostatesi successivamente una lieve pendenza verso Nord-Ovest. Il graben del Campidano separa il blocco del Sinis dalla Sardegna centrale.

## 1.2-CRISI DI SALINITÀ MESSINIANO

La crisi di salinità del Messiniano è tuttora un argomento molto controverso sotto differenti aspetti: entità dell'abbassamento del livello di base durante la successione nella deposizione delle evaporiti, la nuova risalita del livello del mare, l'instaurarsi di attività biologica durante e dopo la crisi di salinità e i meccanismi di deformazione e di *uplift* (per idroisostasia).

La crisi di salinità Messiniana, malgrado la sua breve durata (circa 700 mila anni nel suo complesso) rappresenta un'importante fase della storia del Mediterraneo in virtù alle variazioni degli equilibri chimico-fisici in risposta alle mutate condizioni ambientali.

La suddetta crisi può essere suddivisa in 3 fasi:

### Fase Pre-Evaporitica

Nell'intervallo di tempo che va da i 7.25 - 5.96 Ma si assiste alla chiusura dell'attuale stretto di Gibilterra in seguito a movimenti tettonici compressivi che innescarono o riattivarono il sollevamento delle catene circummediterranee ed il concomitante cambiamento delle condizioni climatiche globali che portarono ad un aumento del volume dei ghiacci con un conseguente abbassamento del livello del mare (Gulli, 2011).

### Fase Evaporitica

Questa chiusura, provocò la progressiva riduzione del volume d'acqua nel Mediterraneo e il conseguente passaggio da condizioni normali a ipersaline, favorendo così, la formazione e l'accumulo di potenti depositi evaporitici. Attorno alla fase evaporitica andarono a svilupparsi due principali modelli interpretativi:

- il modello della soglia chiusa secondo cui la deposizione evaporitica sarebbe avvenuta in seguito al disseccamento completo del Mediterraneo;
- il modello della soglia aperta in base al quale la deposizione evaporitica sarebbe avvenuta all'interno di un bacino parzialmente ristretto, soggetto a periodica comunicazione con l'esterno e caratterizzato da un sistema di circolazione dell'acqua antiestuario<sup>5</sup>.

Un terzo modello di approccio differente fu quello proposto da Nesteroff (1973), il quale riteneva che, i bacini profondi del mediterraneo si fossero formati a partire dalla fine del Messiniano, per progressiva subsidenza degli iniziali bacini superficiali (in risposta alla tettonica verticale connessa alla futura fase di oceanizzazione del mediterraneo sviluppatasi a partire del Pliocene).

### Fase di riapertura

Alla fase di chiusura del Mediterraneo sarebbe seguita quella di riapertura (Pliocene inferiore) la quale avrebbe consentito l'ingresso di acqua marina e lo stabilizzarsi di condizioni marine normali. In Sardegna gli affioramenti pliocenici sono limitati attualmente a due ristrette aree localizzate entrambe in prossimità della costa, a Ovest nel Sinis, a Nord di Oristano, a Est nell'entroterra del Golfo di Orosei (Cherchi, 1973).

### 1.3-IL PLIOCENE DEL SINIS

“Arenarie e sabbie dunari con paleosuoli a vertebrati” e “Sabbie e conglomerati continentali pre-basaltici” erano già stati cartografati nella Carta Geologica d'Italia 1:100.000, (1988).

Tale carta venne pubblicata postuma rispetto agli autori Deriu e Vardabasso i cui rilevamenti risalivano agli anni 50-60. In seguito i sedimenti pliocenici vennero descritti a Capo S. Marco (Pecorini, 1972; Cherchi, 1973), e nella parte settentrionale a Capo Mannu (Carboni & Lecca, 1995).

Un altro affioramento di sedimenti pliocenici è stato segnalato nella falesia di Scal'e Sale da Cornée *et alii* (2008), confermato anche in affioramento da Succu (2014). Un affioramento

---

<sup>5</sup> Il modello della circolazione antiestuario di Scruton si basa sulla presenza di un bacino il quale risulta collegato al mare aperto tramite una strettoia, la cui soglia presenta una profondità tale da permettere l'uscita in profondità (negli estuari la corrente di uscita è invece superficiale), di acqua relativamente salata e densa (Bosellini *et alii*, 1997). Tale riciclo non permette la deposizione dell'alite poiché le soluzioni più dense e concentrate ritornano in mare, tuttavia consente una deposizione “zonata” dei solfati e del salgemma.

sottomarino di Pliocene inferiore è stato documentato, qualche chilometro a Ovest di Is Arutas a circa 40 m di profondità (Francolini et al 1990). In questo studio verrà dedicata maggior attenzione bibliografica alla sezione di Capo S. Marco e una attività descrittiva alla sezione di Capo Mannu.

### 1.3.1-Capo S. Marco

Nel Capo S. Marco (località circa 20 km a sud di non distante da Capo Mannu), il Pliocene inferiore è trasgressivo sul piano messiniano costituito da strati calcareo-marnosi e argilloso-siltosi. La trasgressione pliocenica è sottolineata alla base da un livello grossolanamente clastico, discontinuo a elementi di calcari messiniani (Pecorini, 1972; Cherchi, 1973; Spano, 1989 a cui si rimanda). Il suddetto affioramento in passato veniva associato al Tortonianiano (Mariani & Parona, 1887; Ferro, 1962), più correttamente solo gli studi recenti ne hanno permesso la collocazione precisa all'interno della scala geocronologica. In sintesi a Capo S. Marco la sequenza pliocenica è costituita da: conglomerato trasgressivo, a clasti miocenici, argille sabbiose e marne grigio azzurre a brachiopodi e pectinidi, calcari arenaceo argillosi talora a *lumachelle*.

### 1.3.2-Capo Mannu

A Capo Mannu gli strati pliocenici dunari e interdunari vennero riconosciuti da Pecorini *et alii* (1974). I sottostanti sedimenti stratificati erano considerati di età miocenica (Pecorini *et alii*, 1974; Marini e Murru 1977; Cherchi *et alii*, 1978), cioè si riteneva che a Capo Mannu i sedimenti pliocenici fossero solo di ambiente continentale. In seguito Carboni e Lecca (1995) attribuirono ai sottostanti sedimenti stratificati considerati di età miocenica una età pliocenica e distinsero tali sedimenti come Calcari di Mandriola (Figura 3).

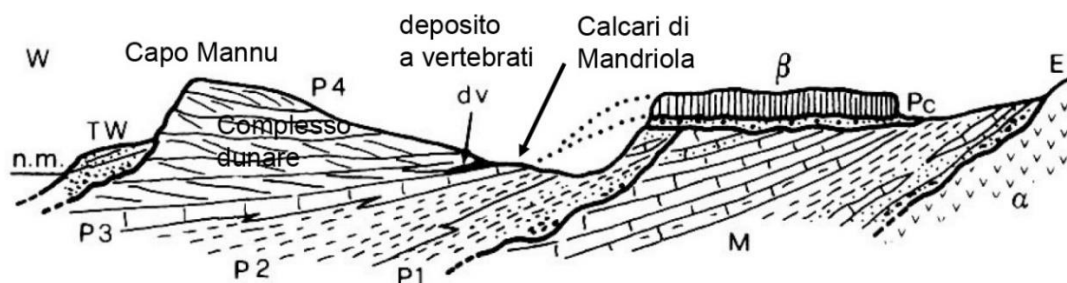


Figura 3 - Interpretazione dei rapporti stratigrafici tra i le unità del Pliocene le altre unità di Sinis (non in scala; da Carboni & Lecca, 1995).  $\alpha$ : andesiti; M: sequenza marina del Miocene medio-superiore Pc: Pliocene continentale (depositi continentali pre-basaltici);  $\beta$ : lave basaltiche medio plioceniche; Sequenza marina pliocenica: P1) Pliocene inferiore, unità trasgressiva marina di Capo San Marco; P2) unità emipelagica marnosa del Pliocene inferiore -medio; P3) unità litorale del Calcare di Mandriola, Pliocene medio; dv: deposito vertebrati (Pecorini *et alii*, 1974); P4) complesso dunare di Capo Mannu; TW, depositi litorali del Tirreniano (MIS 5e) e depositi continentali würmiani.



Le coperture sedimentarie continentali plio-pleistoceniche sono costituite da vari termini, il più importante dei quali, per estensione e potenza, è costituito da arenarie eoliche<sup>6</sup> ben cementate a stratificazione incrociata tipica di un sistema dunare, con intercalati numerosi livelli di paleosuoli argillosi di colore rosso-bruno, a vertebrati (Abbazzi *et alii*, 2008), che a Capo Mannu raggiungono lo spessore di circa 50 m, tale unità per le sue caratteristiche è stata identificata come “Formazione di Capo Mannu” da Pecorini *et alii* (1974).

Queste arenarie di Capo Mannu poggiano a Mandriola su un livello continentale argilloso-siltoso a Roditori e Gasteropodi polmonati, attribuito al Pliocene medio (Piacenziano, scala geocronologica degli anni ‘70) da Pecorini *et alii* (1974). Al di sotto del livello a Roditori e Gasteropodi è presente il banco calcarenitico laminato e a *mega-ripple*, denominato da Carboni e Lecca (1995) “Calcari di Mandriola”.

---

<sup>6</sup> Classificate come biocalcareni, essendo spesso formate da resti organici quali Foraminiferi e in subordine da clasti di quarzo, miche, feldspati e, più raramente, di rocce metamorfiche paleozoiche, del diametro medio di 0.2 mm e massimo di 0.7 mm, di solito poco elaborati (G. PECORINI s.d.).

## 2-DESCRIZIONE DI TERRENO

È stato eseguito un breve rilevamento geologico nella località di Punta Sa Figu, dove è stato perforato il pozzo “CM1” (Figura 4), con tre sezioni geologiche, per ottenere un maggiore apporto descrittivo alle formazioni attraversate dal carotaggio. La quota dell’area arriva fino a 13,5 metri, mentre il punto in cui è stato eseguito il sondaggio (N 40° 1'46.71"/E 8°22'43.55") risulta alla quota di 6 metri dedotti dalla cartografia CTR (Carta tecnica regionale, Figura 5).



Figura 4 - Ubicazione del Sondaggio CM 1 a Punta Sa Figu (parte meridionale di Capo Mannu), punto segnato dal martello. Sullo sfondo, verso Sud-Est, le falesie di Su Tingiosu.

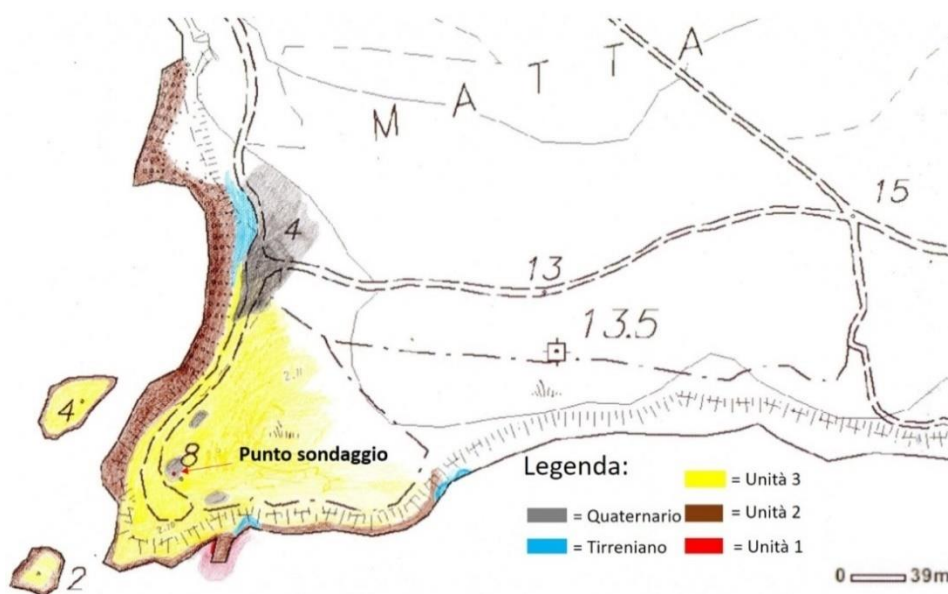


Figura 5 – Carta del rilevamento geologico delle principali unità affioranti nella località di Punta Sa Figu

## 2.1-SEQUENZA PLIOCENICA DI PUNTA SA FIGU

Non distante dal punto di carotaggio è stata osservata lungo una falesia, sul livello del mare, la sequenza pliocenica delle tre principali unità affioranti. (Figure 6 e 7). I rapporti stratigrafici della successione pliocenica è stata rappresentata nelle sezioni di Figura 8 e di Figura 11.

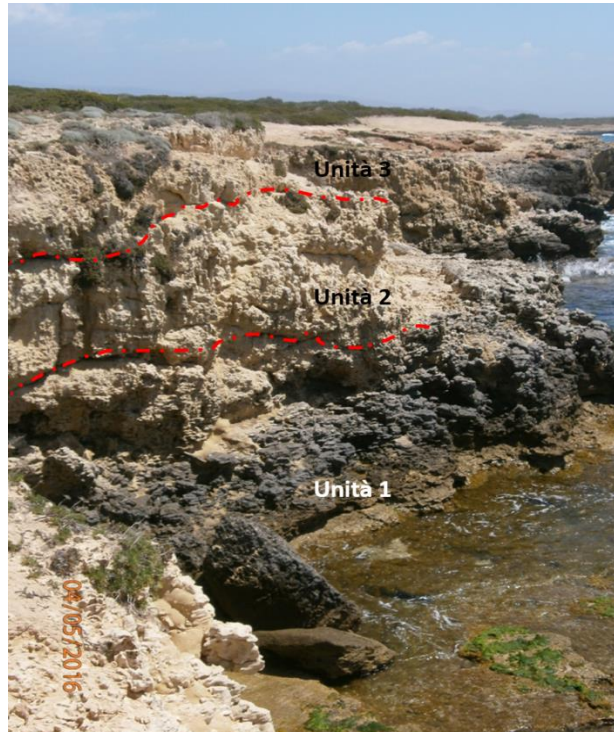


Figura 6 – Falesia a sud-est del punto di carotaggio Capo Mannu 1. Si distinguono chiaramente l'unità 1 alla base e le sovrastanti unità 2 e 3.



Figura 7 - Sequenza non completa della successione pliocenica di Punta Sa Figu, costa Sud-Est.





Figura 9 - Si può osservare in foto la litificazione a rizoliti provocata dal rilascio di sostanze minerali che portano ad una diagenesi differenziata.

All'interno dell'unità 3 si percepisce un'organizzazione in sotto unità. In modo irregolare, nei pendii a carico di questa unità si rileva la presenza di croste carbonatiche (*calcrete*).

Le *calcrete* potrebbero essere ordinate con sigle, ma per motivi di tempo quest'aspetto è stato trascurato. Le unità 3a e 3b sono separate da un paleo-suolo (*PLI*), anche se localmente si amalgamano non permettendo una distinzione netta.

In genere l'unità 3 mostra la seguente organizzazione interna, dal basso verso l'alto:

- Unità 3a: Localmente identificata da una crosta calcarea (*calcrete*), che localmente funge da base per il paleo-suolo.

- Paleosuolo PLI: deposito rossiccio, terroso-argilloso-sabbioso con strutture da bioturbazione da anellidi terrestri (tipo lombrichi).

- Unità 3b: Poggia sul paleosuolo, è costituita da arenarie a rizoliti, con spessore di circa 20-30 cm (Figura 10).

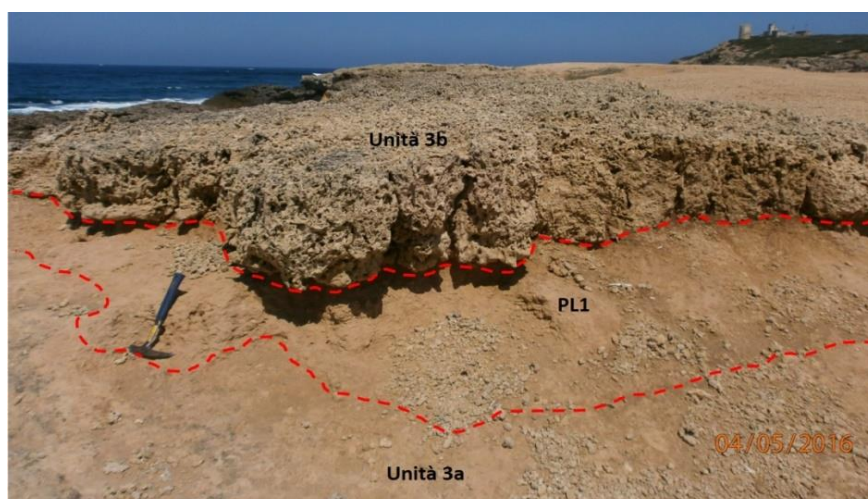


Figura 10 – Paleosuolo PL1, marrone chiaro, alla base della duna 3b. La duna 3b è costituita da un unico banco spesso solo 30-40 cm ed è caratterizzata da un fitto intreccio di rizoliti. Il paleo-suolo funge da intercalazione tra le unità 3a e 3b.

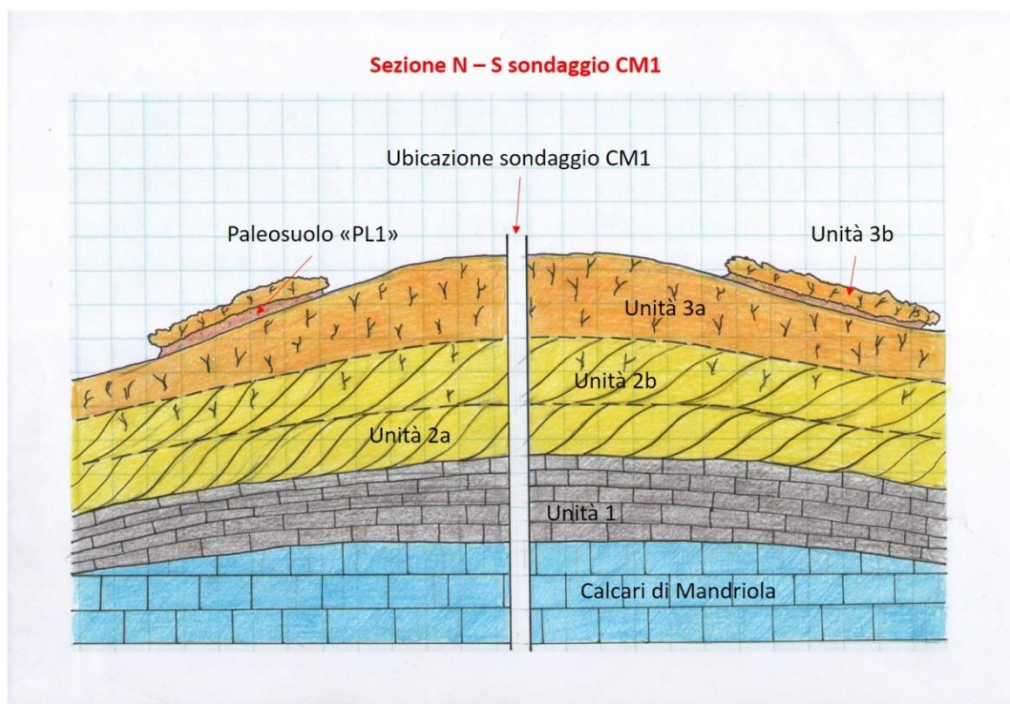


Figura 11 - Sezione non in scala sull'ubicazione del sondaggio CM1 (Loc. Punta Sa Figù) con l'evidenziazione delle unità attraversate in superficie.

## 2.2-SEQUENZA TIRRENIANO - OLOCENICA

In una cala a sud del sondaggio è stata osservata una sequenza tirreniano - olocenica che permette di osservare gli episodi sedimentari marini connessi con le oscillazioni glacio-eustatiche del Pleistocene medio-superiore (Figura 12).

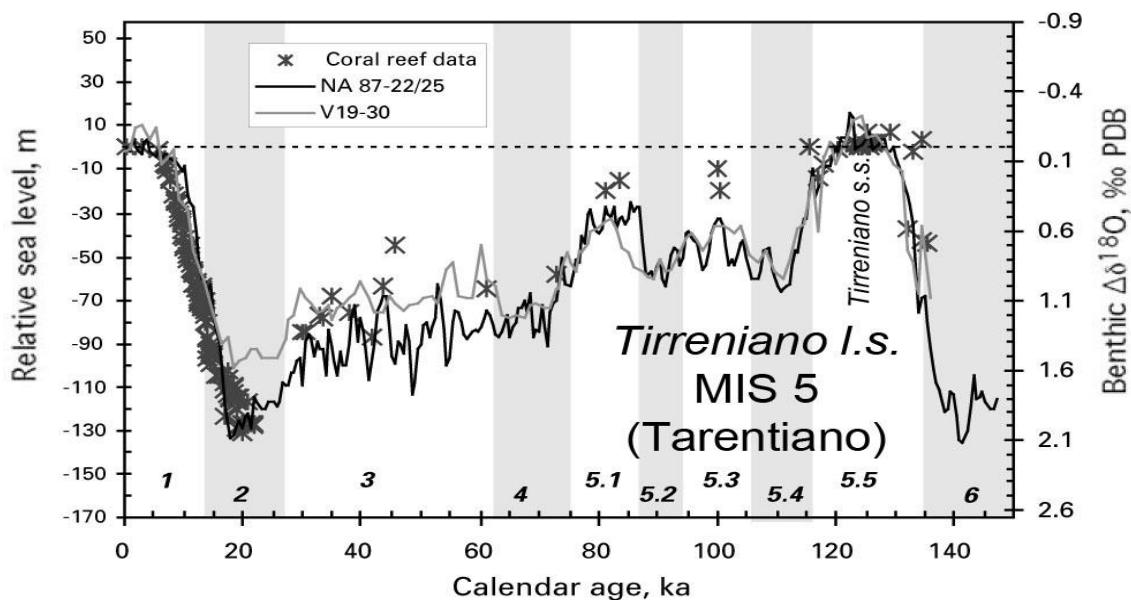


Figura 12 - Variazioni del livello del mare Pleistocene superiore e dell'Olocene (Waelbroeck *et alii*, 2002).

Tali affioramenti sono già stati segnalati in precedenza da Carboni e Lecca (1985) sia nella costa Sud di Capo Mannu, sia nell'isola di Mal di Ventre e nell'area di San Giovanni di Sinis.

L'affioramento più completo riscontrato negli studi del 1985 lo si ritrova sulla costa tra S. Giovanni di Sinis e Funtana Meiga (Sinis Sud occidentale). In questo grande affioramento (Figura 13) sono stati descritti tre corpi sedimentari marino costieri (denominati M1, M2 ed M3) vengono intervallati da depositi continentali (C1, tra M1 e M2), da una superficie erosiva ( $\delta 6$ , tra M2 e M3) e ricoperti da un deposito continentale (C2).

Alla base di quest'ultimo è presente un colluvio di fossili marini rimaneggiati, seguito da colluvi argillosi e banchi di arenarie eoliche, chiuso infine in alto da altri colluvi sabbioso argillosi che presentano localmente resti di attività antropica.

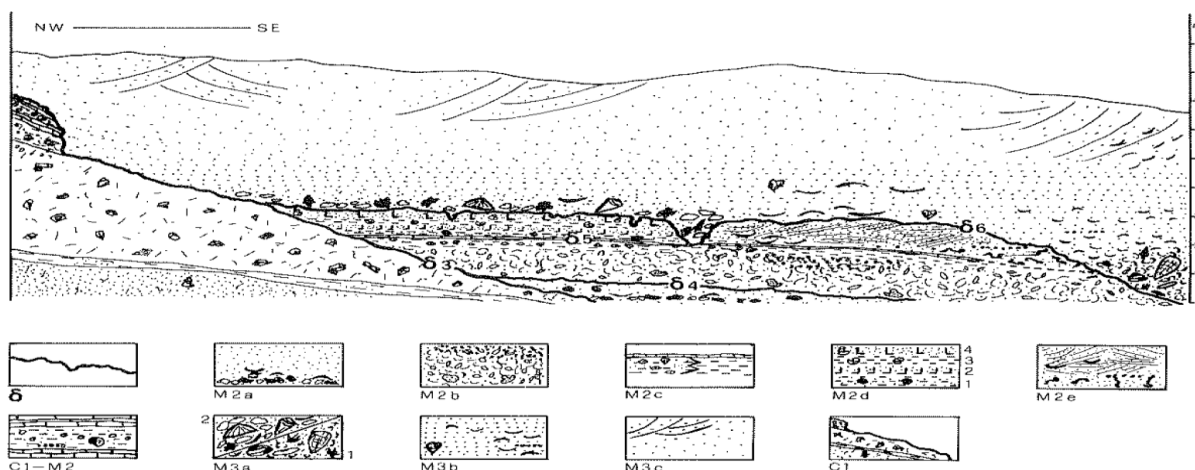


Figura 13 – Schema di rapporti stratigrafici tra C1, M2 e M3: M2a, le unità C ed M sono state suddivise in relazione al contenuto fossilifero e alle caratteristiche tessiturali.

A Sud di Punta Sa Figù, inserendo la sequenza tirreniano-olocenica al di sopra delle unità plioceniche, la successione prosegue con le seguenti unità stratigrafiche:

- Discordanza: superficie erosionale continentale e litorale da onda (*ravinement surface*,  $\delta 6?$ ).
- Unità 4: deposito tirreniano
- Unità 4b: deposito tirreniano rimaneggiato (C2a, *sensu* Carboni & Lecca, 1985)
- Unità 5: suolo rossiccio sabbioso attuale
- Unità 6: crosta di *calcrete* prodotta da ruscellamento
- Unità 7: arenarie a rizoliti
- Unità 8: crosta di *calcrete* prodotta da ruscellamento
- Unità 9: colluvioni costituite da un forte contenuto di argilla con litificazione a rizoliti, lateralmente si osservano lenti di breccie di versante contenenti ciottoli neri.
- (Unità 10): Deposito e suolo olocenico

In questa costa meridionale di Capo Mannu sono presenti placature (limitate coperture) appartenenti al Tirreniano “in situ” o rimaneggiato nei depositi olocenici e si mantiene il tema delle arenarie eoliche anch’esse organizzate in banchi.

Alla base delle falesie di Capo Mannu si evidenzia il passaggio tra la formazione dunare pliocenica e quella di età tirreniana, riconosciuta per la presenza di un livello di fossili alla base del Tirreniano (Figure 14 e 15).





Figura 14 - Sequenza deposizionale tirreniano olocenica, il passaggio tra le unità 4 e 5 non è netto ma è intuibile dal livello di tirreniano rimaneggiato (Livello C2a Carboni & Lecca, 1985).

## Sezione Tirreniano – Olocenica a sud di Punta Sa Figu

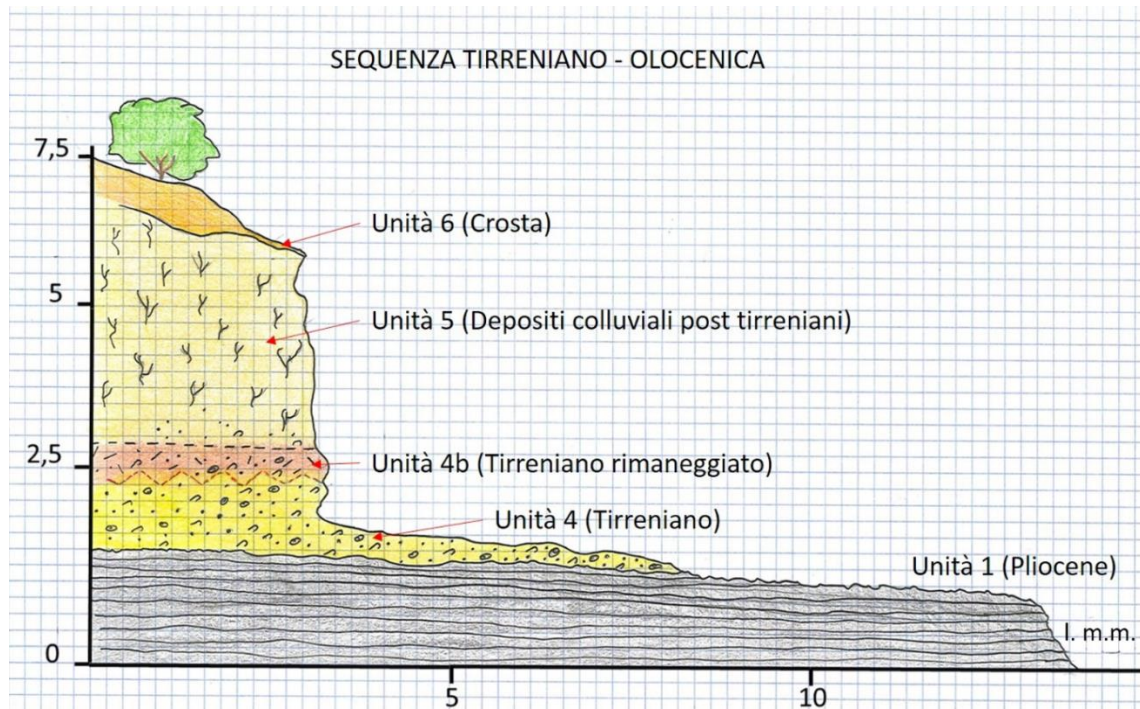


Figura 15 - Sezione stratigrafica della sequenza tirreniana (MIS5e) della cala 2.

Sull'unità 1 (grainstone laminato pliocenico, vedi Figura 16) poggia lungo una superficie irregolare (determinata da erosione continentale e marina da onda) il deposito Tirreniano il quale è caratterizzato da un deposito clastico di arenaria ghiaiosa, localmente conglomeratica di piede di falesia.



Figura16 – Unità 1, grainstone laminato a lamellibranchi.

Notevole risulta il contenuto fossilifero del conglomerato basale, sono stati individuati: molluschi, lamellibranchi, ostreidi, piccoli gasteropodi e patella. Il deposito Tirreniano (Unità 4) verso l'altro (a 150 cm sul l.m.) produce un passaggio graduale verso il Tirreniano rimaneggiato (Unità 4b) riconoscibile per il caratteristico colore rosso (livello C2a, Carboni e Lecca 1995), per poi sfumare in un deposito colluviale ricco in strutture a rizoliti di età incerta, attribuibile ai tempi post tirreniani e precedenti l'Olocene (Figura 17).

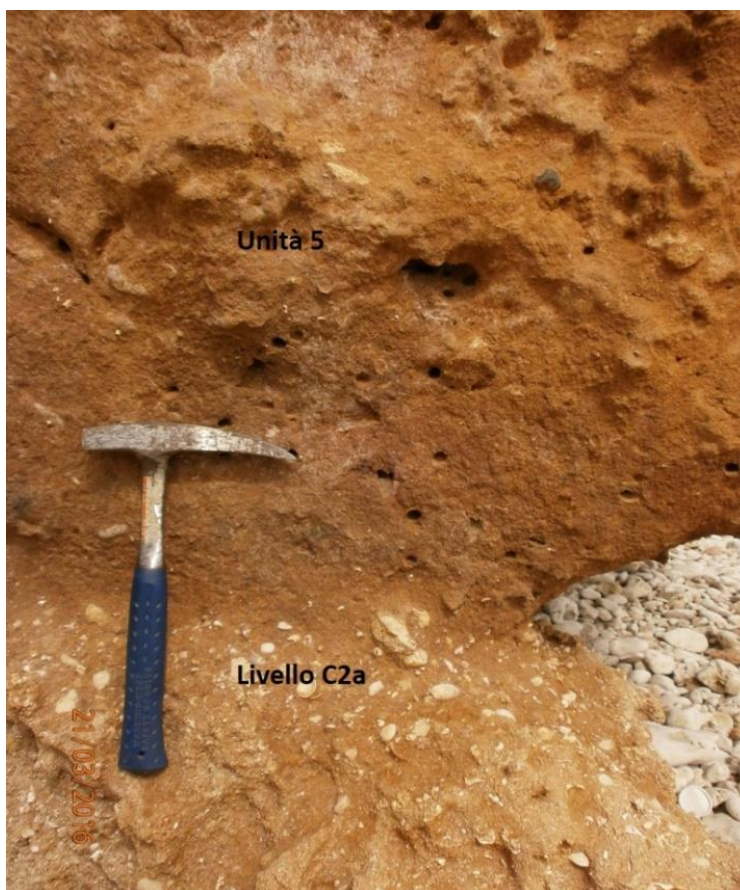


Figura 17 - Livello C2a (*sensu* Carboni & Lecca 1985), passaggio graduale tra deposito tirreniano rimaneggiato e deposito post-tirreniano (MIS5d) olocenico con strutture a rizoliti.

Il deposito continentale (unità 5) è limitato verso l'alto per la presenza di croste di carbonato di calcio (unità 6) al di sopra della quale si osservano nuovamente delle strutture a rizoliti.

In sintesi:

Le cale abbandonate dal mare Tirreniano, in abbassamento, sono state riempite da una sedimentazione continentale la cui crescita risulta verso est.

Lo spessore dell'intero profilo così come la sua continuità ha risentito di una notevole variabilità laterale che segue la morfologia delle cale.

### 3-SONDAGGIO CAPO MANNU 1

Con la finalità di migliorare le conoscenze stratigrafiche sulla sequenza pliocenica presente sotto Capo Mannu, avendo come obiettivo finale la verifica della stratigrafia del Sinis già descritta nella Carta Geologica d'Italia, F 538 Oristano, sono stati eseguiti due carotaggi Capo Mannu 1 (CM1) e Capo Mannu 2 (CM2) ubicati a Punta Sa Figu e a Sa Mesa Longa.

Durante le attività di questa tesi si è assistito all'esecuzione e alla descrizione di cantiere dei due sondaggi, ma nella fase di descrizione le attenzioni sono state rivolte maggiormente al CM1

#### 3.1-TECNICA DI PERFORAZIONE

I sondaggi geognostici si caratterizzano per il loro piccolo diametro per la loro versatilità e facilità di spostamento delle sonde che li realizzano. Le profondità di indagine sono suscettibili a variazioni, in relazione al tipo di ricerca che si vuole compiere e alle caratteristiche del carotiere.

Nell'ambito di questa tesi si è deciso per la realizzazione di 2 pozzi fino al raggiungimento della profondità di -50 m rispetto al piano campagna, al fine di verificare la sequenza pliocenica non affiorante in superficie ed evidenziare la dove intercettata la discordanza messiniana (POZZO 2).

##### 3.1.1-Funzionamento della trivella

Il tipo sondaggio svolto prende il nome di sondaggio a carotaggio continuo in quanto l'estrazione dei campioni è continua. Il macchinario utilizzato è un *Atlas Copco Mustang A-66 CBT* (Figura 8) motore *Deutz* a sei cilindri 912 a cui sono accoppiate pompe idrauliche<sup>8</sup>.



Figura 18 - Trivella semovente cingolata Atlas Copco.

In un sondaggio a rotazione, il sistema di perforazione comprende i seguenti elementi integrati:

---

<sup>8</sup> Le pompe idrauliche consentono mediante la loro apertura a chiusura l'esclusione o meno di parti della macchina permettendone il funzionamento

Testa di rotazione	Tubi di rivestimento foro
Tubo carotiere	Corone al widia o al diamante
Cassette catalogatrici	Pompa esterna con cisterne per riserva d'acqua

La testa è il pezzo di unione tra il carotiere, in cui si raccoglie il campione che si estrae durante la perforazione, e la batteria d'aste che trasmette il movimento di rotazione e di spinta<sup>9</sup>.

All'interno del tubo estrattore si trova il manicotto portaestrattore, il quale contiene al suo interno una molla (estrattore) che serve a tagliare il campione quando questo viene estratto<sup>10</sup>, impedendo che fuoriesca durante la manovra.



Figura 119 - Corone in widia utilizzate durante i sondaggi.

La corona (Figura 19) è l'elemento perforante che si utilizza nel sondaggio e dispone di taglienti, i quali possono essere di widia (carburo di tungsteno) o di diamante.

La scelta del tipo di corona da utilizzare dipende dal tipo di litologico che si prevede di attraversare e alla conseguente velocità di rotazione durante il carotaggio. In questa campagna si è scelto l'utilizzo di una corona al widia con carotaggio a tubo semplice con perforazione a secco con utilizzo d'acqua solo in caso di strati fortemente lapidei.

L'acqua in pressione è stata invece normalmente utilizzata per l'estrazione dei campioni dal tubo carotiere. Il fluido viene mandato in circolo all'interno della macchina e dei tubi carotatori tramite una pompa esterna al macchinario (Figura 20) ed esercitando una pressione sul campione contenuto all'interno del tubo carotiere ne permette l'estrazione.

### 3.1.2-Classi di qualità dei campioni e problematiche di estrazione

Si ricorda che il prelievo di campioni indisturbati è possibile, con le usuali tecniche, solo in presenza di terreni a grana fine (limi e/o argille). Sono stati messi a punto diversi tipi di campionatori in funzione della consistenza del terreno da campionare; infatti, le problematiche del campionamento sono profondamente diverse:

- per materiali molli, il problema è quello del recupero del campione e nell'evitare di

<sup>9</sup> La spinta consiste nella forza che la macchina imprime durante la perforazione, nel caso specifico corrisponde a circa 10000 kg

<sup>10</sup> La capacità di estrarre materiale in relazione al peso della carota e dei tubi del carotiere viene chiamata "Tiro"

comprimerlo;

- per materiali duri il problema è quello dell'infissione del campionatore.

La Geotecnica fa distinzione tra i campioni di terreno in funzione della loro utilizzabilità; in particolare facendo riferimento alle più volte citate "Raccomandazioni AGI", si suddividono i campioni in 5 classi in funzione del disturbo arrecato in fase di prelievo e quindi alle informazioni geotecniche che da essi si possono dedurre (Tabella 1).

Tabella 1 - CLASSI DI QUALITÀ DEI CAMPIONI

Caratteristiche geotecniche determinabili	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Natura del terreno	*	*	*	*	*
Composizione granulometrica		*	*	*	*
Contenuto d'acqua			*	*	*
Peso dell'unità di volume				*	*
Caratteristiche meccaniche					*
	Campioni rimaneggiati			Campioni a disturbo limitato	Campioni indisturbati

I materiali estratti con i carotieri ricadono nelle classi Q1-Q3, di conseguenza volendo acquisire informazioni sulle proprietà meccaniche dei terreni è risultato necessario sviluppare particolari attrezzi e strumenti per il prelievo di campioni di classe Q4-Q5.



Figura 20 - Pompa e serbatoi dell'acqua a servizio della trivella.

Dopo ogni manovra, a causa della bassa stabilità delle pareti, si rendeva necessario un successivo rivestimento del foro attraverso degli appositi tubi (Figura 21) i quali impedivano il collasso delle pareti laterali il cui peso e l'azione stringente avrebbero impedito l'estrazione dei tubi carotieri.



Figura 2112 - Tubi di rivestimento, al cui interno grazie al diametro di 127 mm tubi carotieri riuscivano ad operare.

### 3.1.3-Problematiche “Rivestimento della carota”

Oltre che nella fase di perforazione possono sussistere delle problematiche durante il recupero della carota e durante la sua estrazione del tubo carotatore.

Alcuni tipi di materiali risultano di difficile estrazione per il loro basso stato di coesione quali ciottoli, sabbie e ghiaie. Talvolta un livello brecciato è sviluppata dalla forza che la macchina esercita nel momento in cui incontra un piccolo spessore cementato, bisogna quindi fare attenzione nella ricostruzione della successione stratigrafica, nel porre una distinzione tra livelli conglomeratici naturali e livelli brecciati dall' azione della corona (pressione e rotazione).

Altra problematica ben più evidente e ripetitiva nel corso dell'attività di sondaggio è l'alterazione e il rivestimento della carota (Figura 22), i materiali con un comportamento più plastico (regolato dal contenuto di argilla e materiale fino) infatti al momento dell'estrazione dal tubo carotiere subiscono un'alterazione nei primi millimetri superficiali delle loro strutture.



a



b

Figura 22 - Fase di estrazione del materiale dal tubo carotatore, a): si osserva il disturbo causato nella parte superficiale della carota dalle operazioni di carotaggio e l'alterazione della coesione del materiale generata dall'utilizzo dell'acqua. B): estrazione della carota mediante acqua in pressione. Si noti la sottile patina di rivestimento, nei primi millimetri superficiali, causata dall'attrito con le pareti del carotiere.

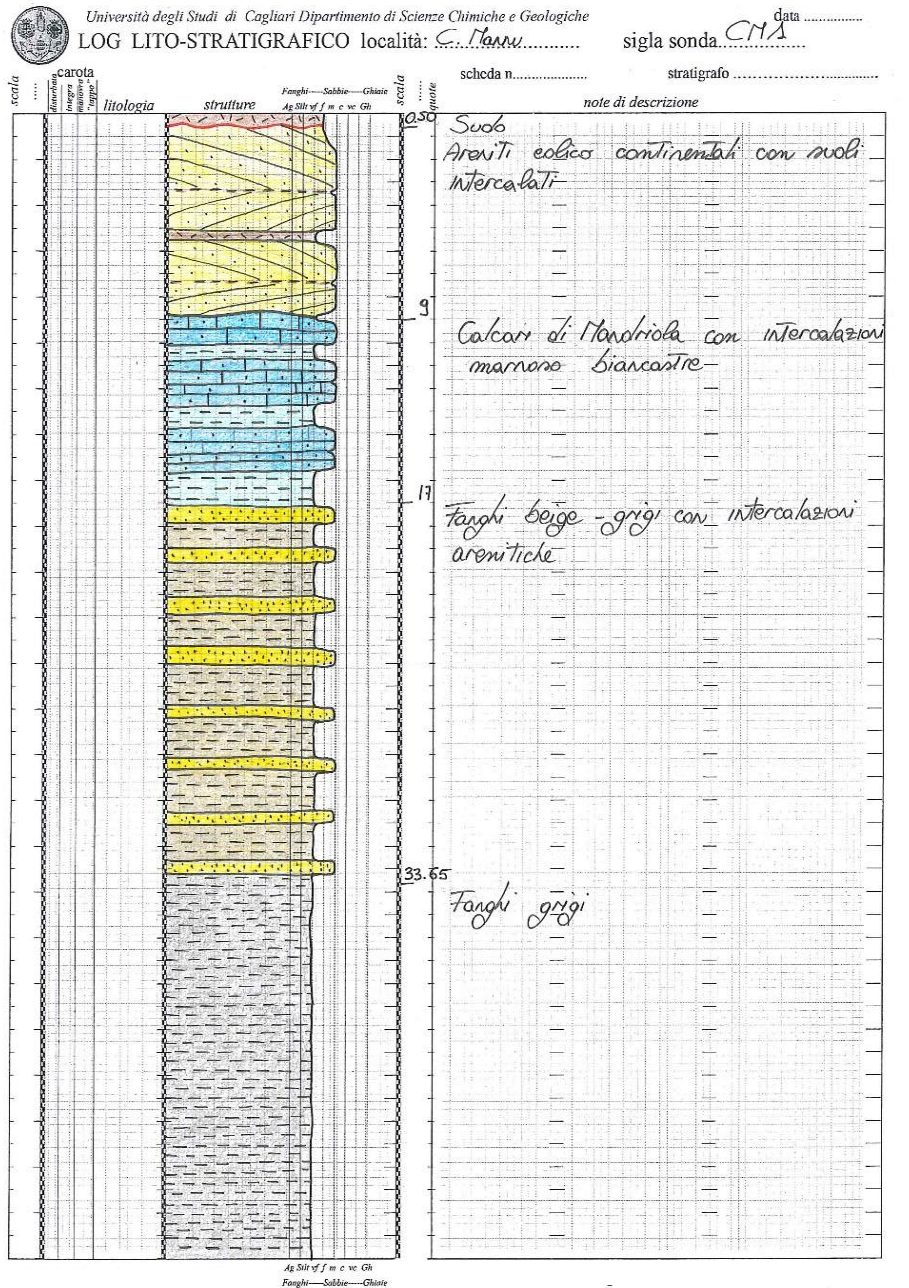


Il rivestimento viene invece sviluppato dall'azione perforante della corona, è stato calcolato che durante l'operazione di carotaggio viene perso un quantitativo pari al 50-60% del materiale, tale materiale finemente frantumato va successivamente a rivestire la parte esterna della carota per circa il 30% del volume totale.

Per ovviare a ciò e osservare più nello specifico le differenti intercalazioni sedimentarie è necessario rasare la superficie alterata inumidendola con un'apposita pompetta, questo tipo di alterazione è osservabile anche nella zona di manovra, dove il materiale viene "cotto" raggiungendo strati di aggregazione non propri.

### 3.2-RICONOSCIMENTO DELLE UNITÀ CAROTATE

Ad ogni estrazione le carote hanno subito una prima classificazione (descrizione di cantiere) e sono state quindi riportate all'interno di schede raffiguranti dei log stratigrafico (Figura 23), evidenziando su quest'ultimi la suddivisione litologica – classe granulometrica – colore – tessitura – grado di alterazione - consistenza, per poi essere successivamente riposte all'interno delle cassette catalogatrici.



Carotaggi 2016 CARG Oristano, area marina, coordinatore L. Lecca  
 Impresa esecutrice: Geosardinya Resp. Dott. Geol. A. Piredda, sonda: Atlas Copco, Mustang A 66 CBT;  $\phi$ : 90/110 mm

Figura 23 - Log stratigrafico con descrizione schematica delle principali unità attraversate dal sondaggio C. Mannu.

### 3.2.1-Osservazioni al microscopio binoculare

Al fine di aver una maggiore comprensione delle successioni attraversate e di definirne le facies ed una loro possibile zonazione e ambiente di deposizione, sono state eseguite micro analisi di facies su una serie di campioni rappresentativi prelevati nelle cassette catalogatrici del carotaggio CM1.

#### - Metodologia

Ciascun campione preventivamente ripulito tramite l'uso di acqua e pennello è stato studiato attraverso l'utilizzo di differenti ingrandimenti (Microscopio binoculare Wild M3C, 6.4x – 40x). In particolare sono state distinte le tessiture, le composizioni, le dimensioni dei granuli, il cemento le componenti organiche, le strutture ecc. I campioni studiati provengono dal rilevamento di superficie e dalla campionatura dei primi 15 metri del carotaggio CM1 (Tabelle. 2 e 3).

Tabella2 MICRO-FACIES CAMPIONATE IN SUPERFICIE

<i>Litofacies</i>	<i>Descrizione breve</i>
Clasto in deposito olocenico	Quarzo arenite (grossa-molto grossa) a cemento carbonatico clasto sostenuta, con presenza di foraminiferi di <i>Elphidium sp</i> e <i>Ammonia sp</i> .
Unità 3b	Arenite eolica a componente terrigena costituita da biotite e quarzo la cui cementazione è da attribuire al ricircolo di carbonato di calcio che tuttavia non ha dato luogo a ricristallizzazioni.
Unità 3a	Arenite eolica a cemento carbonatico, con sporadiche ricristallizzazioni. La componente terrigena è costituita da minerali di quarzo e biotite. Sono presenti numerosi foraminiferi bentonici in prevalenza <i>Elphidium sp.</i> e <i>Ammonia sp.</i> Le dimensioni dei foraminiferi ricadono tra le sabbie medie e le sabbie grosse).
Unità 2b	Arenite a foraminiferi bentonici, in prevalenza di <i>Elphidium sp.</i> e <i>Ammonia sp.</i> con impurità terrigene ad opera della biotite e del quarzo. Le dimensioni dei foraminiferi ricadono tra le sabbie medie e sabbie grosse. È presente una forte diagenesi da parte della calcite.
Unità 2a	Arenite fortemente diagenizzata ad opera della calcite. La diagenesi rende difficoltosa l'individuazione dei foraminiferi. La presenza di materiale terrigeno risulta minore rispetto al campione dell'unità 2a
Unità 1	Calcere a foraminiferi di <i>Elphidium sp.</i> e <i>Ammonia sp.</i>
M1 areniti grigie pre-Calcarei di Mandriola	Quarzo-arenite a cemento carbonatico con intense ricristallizzazioni di calcite che riempiono la porosità e le <i>fenestrae</i> presenti. Questo campione proviene dal sondaggio Mandriola 1 (2014).

Tabella 3 MICRO-FACIES CAMPIONATE IN CAROTAGGIO

(La descrizione è stata eseguita dall'alto verso il basso)

Unità, metri sotto il piano campagna	Descrizione della micro-facies
Suolo olocenico 0,32	Ciottoli da rizolite 2-3cm del deposito olocenico (suolo bruno): facies quarzo-arenitica, con frequenti foraminiferi, con cemento calcitico; da giallognolo a biancastra; porosità variabile da alta a media, dimensioni dei granuli prevalenti: 0,5-0,2 mm; tracce di micro radici. Unità di origine: duna a rizoliti, 3a?
Duna 3a 0,66	Facies quarzo-arenitica, con discreta-sparsa presenza di foraminiferi; cemento calcitico; colore biancastro – giallognolo; porosità media; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,4-0,2 mm; rarissima biotite; sono presenti anche parti con facies friabili, poco coerenti. Unità: duna, 3a?
Duna 3a 1,64	Facies quarzo-arenitica, sparsi foraminiferi; cemento calcitico; colore biancastro-giallognolo; porosità media; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,4-0,2 mm; macchie nerastre: materia organica;
Duna 2,00	Facies grainstone (prevale la componente carbonatica) e quarzo-arenitica, rari foraminiferi; cemento calcitico, ben coerente, colore biancastro con punti giallognoli; bassa porosità; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,25-0,1 mm; rare biotiti; macchie nerastre: materia organica, test H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .
Duna 2,13	Facies quarzo-arenitica, sparsi foraminiferi; cemento calcitico; colore biancastro-giallognolo; porosità media-alta; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,4-0,2 mm; macchie nerastre.
Duna 3,19	Facies quarzo-arenitica, rari foraminiferi; cemento calcitico, ben coerente, a punti friabile; colore bianco con punti giallognoli; media porosità, variabile con sparse <i>fenestrae</i> ; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,25-0,1 mm; rare biotiti; macchie nerastre.
Duna o alta spiaggia 3,90-3,95	Facies grainstone (prevale la componente carbonatica) con subordinato quarzo, rari foraminiferi; cemento calcitico, ben coerente, a punti friabile; colore bianco con punti giallognoli; media porosità, variabile; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,25 mm (carbonato)-0,1 mm (quarzo); rare biotiti; macchie nerastre; accessori: altre componente terrigena di granuli molto fini colorati.
Duna o alta spiaggia e Base del paleo-suolo 4,20	Facies grainstone (prevale la componente carbonatica bioclastica) con subordinato quarzo, rari foraminiferi; cemento calcitico, ben coerente, colore bianco con punti giallognoli; bassa porosità; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,3 mm (carbonato)-0,15 mm (quarzo); rare biotiti; macchie nerastre. Matrice marron-beige più quarzosa/argillosa, test HCl: paleo-suolo. Clasti e paleo-suolo.
Duna o alta spiaggia 4,95	Facies grainstone (prevale la componente carbonatica bioclastica) con subordinato quarzo, frequenti foraminiferi; cemento calcitico, ben coerente, colore bianco con punti giallognoli; bassa porosità; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,3 mm (carbonato)-0,15 mm (quarzo); rare biotiti; macchie nerastre. Strutture tipo <i>cannellures</i> . Attorno al <i>cannellures</i> la facies è più porosa e meno cementata.
Duna o alta spiaggia 5,30	Facies grainstone (prevale la componente carbonatica bioclastica) con subordinato quarzo, frequenti foraminiferi; cemento calcitico, ben coerente, colore bianco con punti giallognoli; bassa porosità; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,3 mm (carbonato)-0,15 mm (quarzo); rare biotiti; macchie nerastre. Strutture tipo <i>cannellures</i> . Attorno nucleo cementato del <i>cannellures</i> la facies è friabile, incoerente.
Duna o alta spiaggia 5,53	Facies grainstone (prevale la componente carbonatica bioclastica) con subordinato quarzo, frequenti foraminiferi; cemento calcitico, ben coerente, colore bianco con punti giallognoli; bassa porosità; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,3 mm (carbonato)-0,15 mm (quarzo); rare biotiti; macchie nerastre. Strutture tipo <i>cannellures</i> . Attorno al <i>cannellures</i> la facies è più porosa e meno cementata.
Clastico continentale 5,82-5,88	Deposito clastico, ciottoli centimetrici di eolianite con matrice marron-beige più calcitica-quarzosa- debolmente argillosa, test HCl.
Spiaggia ( <i>backshore</i> ?) 5,90	Facies grainstone (prevale la componente carbonatica bioclastica, a piccoli frammenti di lamellibranchi) con quarzo molto subordinato, frequenti foraminiferi; cemento calcitico (1,5 mm), ben coerente, colore bianco con punti giallognoli; bassa porosità e isolate porosità <i>modaliche</i> (1,5-3mm) e vacuolari; dimensioni dei granuli prevalenti: 1,5 mm 0,5 mm; biotite assente; macchie nerastre.
Spiaggia ( <i>backshore</i> ?)	Facies grainstone (prevale la componente carbonatica bioclastica, a piccoli frammenti di lamellibranchi) con quarzo molto subordinato, frequenti foraminiferi; cemento calcitico (1,5 mm),

Duna bassa di Mandriola a <i>cannellures?</i> 6,00-6,07	ben coerente, colore bianco con punti giallognoli; bassa porosità e isolate porosità <i>modaliche</i> (1,5-3mm) e vacuolari; dimensioni dei granuli prevalenti: 1,5 mm 0,5 mm; biotite assente; macchie nerastre. Cementazione irregolare con livelli friabili.
Spiaggia ( <i>backshore?</i> ), Duna bassa di Mandriola 6,65-6,80	Facies grainstone con quarzo molto subordinato, foraminiferi assenti; cemento calcitico, ben coerente, colore bianco con punti giallognoli; bassa porosità dimensioni dei granuli prevalenti: 0,3 – 0,15 mm; biotite assente; macchie nerastre. Cementazione irregolare con livelli friabili: <i>cannellures?</i>
Spiaggia ( <i>backshore?</i> ), Duna bassa di Mandriola 7,18	Facies grainstone con quarzo molto subordinato, foraminiferi assenti; cemento calcitico, ben coerente, colore bianco con punti giallognoli; bassa porosità dimensioni dei granuli prevalenti: 0,3 – 0,15 mm; biotite assente; macchie nerastre. Cementazione irregolare con livelli friabili: <i>cannellures?</i>
Spiaggia 7,50-7,60	Sabbie bioclastiche con abbondante quarzo, foraminiferi; facies non cementata, colore giallognoli; bassa porosità dimensioni dei granuli prevalenti: 1,5 – 0,5 mm; biotite assente; macchie nerastre.
Spiaggia ( <i>foreshore-shoreface superiore?</i> ) Calcari di Mandriola 7,96	Facies grainstone (prevale la componente carbonatica bioclastica, a lamellibranchi, vedi figura) con quarzo molto subordinato, frequenti foraminiferi; cemento calcitico (1,5 mm), ben coerente, colore bianco con punti giallognoli; bassa porosità e isolate porosità <i>modaliche</i> (1,5-3mm, 1-2cm) e vacuolari; dimensioni dei granuli prevalenti: 1,5 mm 0,5 mm; biotite assente; macchie nerastre. Sono presenti intercalazioni friabili più terrigene.
Idem 8,75	Stessa facies del campione precedente
Idem 9,23	Stessa facies dei campioni precedenti con alternanza di lamine centimetriche carbonatiche ben cementate e terrigene più friabili. Diametri: frammenti di lamellibranchi 2- 3mm, terrigeno 0,6 mm; biotiti sparse, foraminiferi frequenti.
Idem 9,78	Stessa facies dei campioni precedenti.
Idem 9,94	Stessa facies dei campioni precedenti, lamine 2-3 cm molto ben cementate.
Idem 10,20	Stessa facies dei campioni precedenti, con numerose porosità <i>modaliche</i> , dente di pesce ( <i>sparide?</i> ), granuli terrigeni di incerta attribuzione: vulcaniti oligo-mioceniche? <i>plioceniche?</i>
Idem 10,90	Stessa facies dei campioni precedenti, strato 5-10 cm ben cementato a laminazione debolmente incrociata. Con gruppi di foraminiferi friabili. Porosità <i>modaliche</i> .
Idem 11,30	Stessa facies dei campioni precedenti, lamine 2-3 cm molto ben cementate.
Idem 11,80	Stessa facies dei campioni precedenti, lamine 2-3 cm molto ben cementate, con “nidi di foraminiferi”.
Idem 12,17	Stessa facies dei campioni precedenti, lamine 2-3 cm molto ben cementate.
Idem 12,37	Stessa facies dei campioni precedenti, lamine 2-3 cm molto ben cementate.
Idem 13,00	Stessa facies dei campioni precedenti, lamine 1-2, con numerose biotiti, modello di lamellibranchi di 1,5 cm.
<i>Shoreface inferiore</i> 13,43	Diminuzione delle dimensioni dei granuli. Facies grainstone (prevale la componente carbonatica bioclastica, frammenti di lamellibranchi) con subordinato quarzo, frequenti foraminiferi; cemento calcitico, ben coerente, colore bianco; bassa porosità; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,3 mm (carbonato)-0,15 mm (quarzo);
<i>Shoreface inferiore</i> 14,30	Diminuzione delle dimensioni dei granuli. Facies grainstone (prevale la componente carbonatica bioclastica, frammenti di lamellibranchi) con subordinato quarzo, frequenti foraminiferi; cemento calcitico, ben coerente, colore bianco; bassa porosità; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,3 mm (carbonato)-0,2 mm (quarzo);
<i>Shoreface inferiore</i> 14,90	Come sopra, grainstone con diminuzione delle dimensioni dei granuli, prevale la componente carbonatica bioclastica, con subordinato quarzo; nidi di foraminiferi; cemento calcitico, ben coerente, colore bianco; bassa porosità; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,3 mm (carbonato)-0,15 mm (quarzo); numerosi frammenti di lamellibranchi.

Le micro-facies riconosciute possono essere raggruppate in 4 principali tipologie.

-Depositi superficiali olocenici

Si tratta di depositi misti costituiti da materiali colluviali, ciottoli di dune plioceniche e sottili suoli bruni-rossicci (da qualche decimetro a un ordine di circa un metro).

Le micro-facies dei suoli non sono state descritte, sono stati osservati solo i ciottoli di eolianiti (areniti eoliche) chiaramente caratterizzati da: facies quarzo-arenitica, con frequenti foraminiferi, con cemento calcitico; da giallognolo a biancastro; porosità variabile da alta a media, dimensioni dei granuli prevalenti: 0,5-0,2 mm; tracce di micro radici.

-Dune (eolianiti)

Sono costituiti da areniti miste, quarzose e carbonatiche, in genere col quarzo prevalente. Particolare presenza di strutture rizolitiche, di *cannellures* e di intercalazioni di sottili paleo-suoli e di croste calcaree. Le micro-facies risultano quarzo-arenitiche, con discreta-sparsa presenza di foraminiferi; cemento calcitico; colore biancastro – giallognolo; porosità media; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,4-0,2 mm; rara-sparsa biotite; sono presenti anche parti con facies friabili, poco coerenti.

-*Grainstone* di *foreshore-shoreface* superiore (spiaggia sommersa)

Sono costituite da areniti sempre più carbonatiche a porosità ridotta fino a areniti a lamellibranchi con presenza di una porosità moldica. La componente terrigena diminuisce sia come percentuale della componente quarzosa terrigena sia per le dimensioni dei granuli; la componente a foraminiferi è importante e localmente sono stati individuati “nidi” di foraminiferi bentonici. La micro-facies caratteristica è quindi un *grainstone* (prevale la componente carbonatica bioclastica, a lamellibranchi, vedi figura) con quarzo molto subordinato, frequenti foraminiferi; cemento calcitico (1,5 mm), ben coerente, colore bianco con punti giallognoli; bassa porosità e isolate porosità moldiche (1,5-3mm, 1-2cm) e vacuolari; dimensioni dei granuli prevalenti: 1,5 mm 0,5 mm; biotite assente; macchie nerastre. Sono presenti intercalazioni friabili più terrigene.

-*Grainstone* di *shoreface* inferiore

Sono costituite anch'esse da areniti prevalentemente carbonatiche ma di dimensioni inferiori a quelle dello *shoreface* superiore. Presenza evidente di livelli a lamellibranchi che non sviluppano una porosità moldica, la porosità per il grado di cementazione risulta pressoché assente.

Facies *grainstone* (prevale la componente carbonatica bioclastica, frammenti di lamellibranchi) con subordinato quarzo, frequenti foraminiferi; cemento calcitico, ben coerente, colore bianco; bassa porosità; dimensioni dei granuli prevalenti: 0,3 mm (carbonato)-0,15 mm (quarzo).

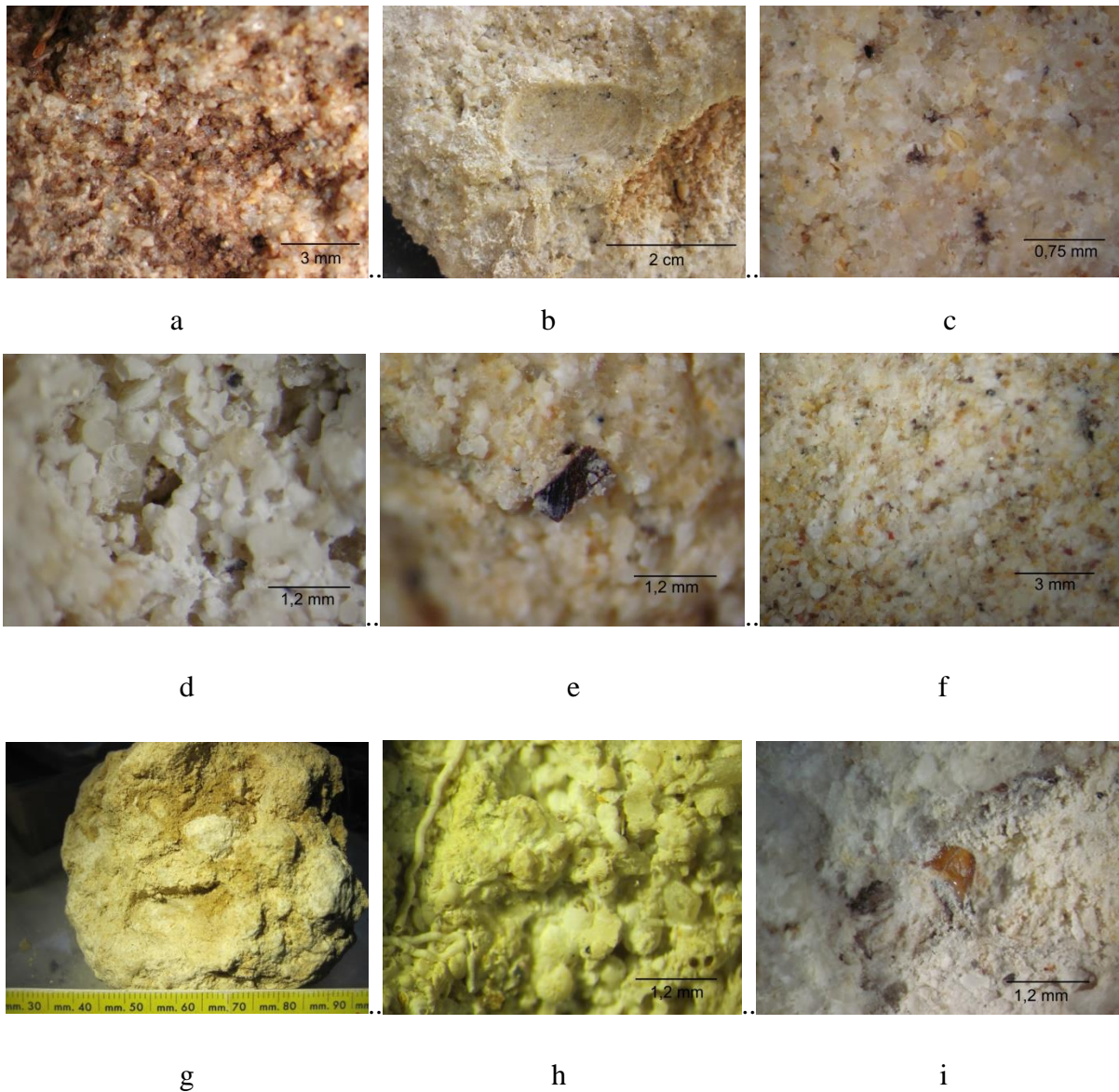


Tavola 1 – A) Eolianite quarzosa, con frequenti foraminiferi, porosa con cemento calcitico (0.32 m, 6.4x); B) Calco esterno del guscio di una lamellibranco; C) Facies quarzo-arenitica, con discreta-sparsa presenza di foraminiferi; cemento calcitico (0.66 m, 10x); D) “Nido” di foraminiferi (11.80 m, 16x); E) Frustolo organico (6.66 m, 16x); F) Facies quarzo-arenitica, rari foraminiferi; cemento calcitico, ben coerente, a punti friabile (3.19 m, 6.4x); G) Brecciola continentale; H) Unità 1 ricca in foraminiferi *Elphidium sp* e *Ammonia sp* (16x); I) Dente fossile di pesce, facies *grainstone* (9.78 m, 16x).

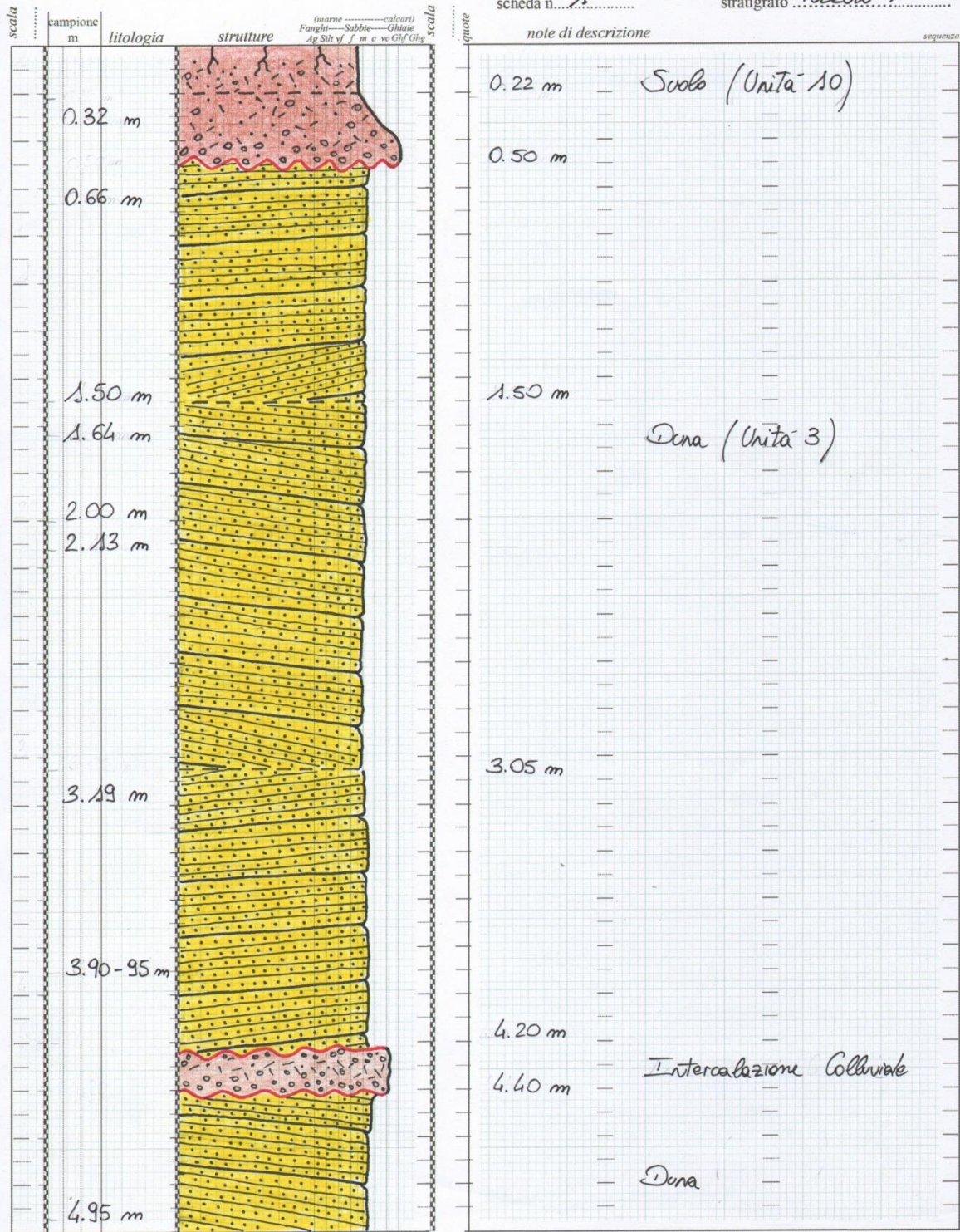
### 3.3-RICOSTRUZIONE DELLA COLONNA STRATIGRAFICA (0-15 m) DEL CAROTAGGIO CM1

Come è stato descritto in precedenza, ad ogni estrazione le carote hanno subito una prima descrizione di cantiere e sono state quindi riportate all'interno di schede raffiguranti dei log stratigrafico, evidenziando su questi ultimi la suddivisione litologica – classe granulometrica – colore – tessitura – grado di alterazione - consistenza, per poi essere successivamente riposte all'interno delle cassette catalogatrici. A questa prima descrizione è seguita una più precisa analisi a conferma della stratigrafia e delle micro-facies, oltre che della rilevazione delle quote, che ha consentito di disegnare il log stratigrafico più accurato per i primi 15 metri di carota.

Il disegno del log è stata incentrata sull'evidenziazione delle diverse unità attraversate principalmente sulla base della dimensione dei diametri delle sabbie e ghiaie. Mentre è stato trascurato il grado di coerenza e la natura prevalente carbonatica che avrebbe portato a indicare la natura calcarea che sarebbe stata meno discriminante rispetto alla granulometria.

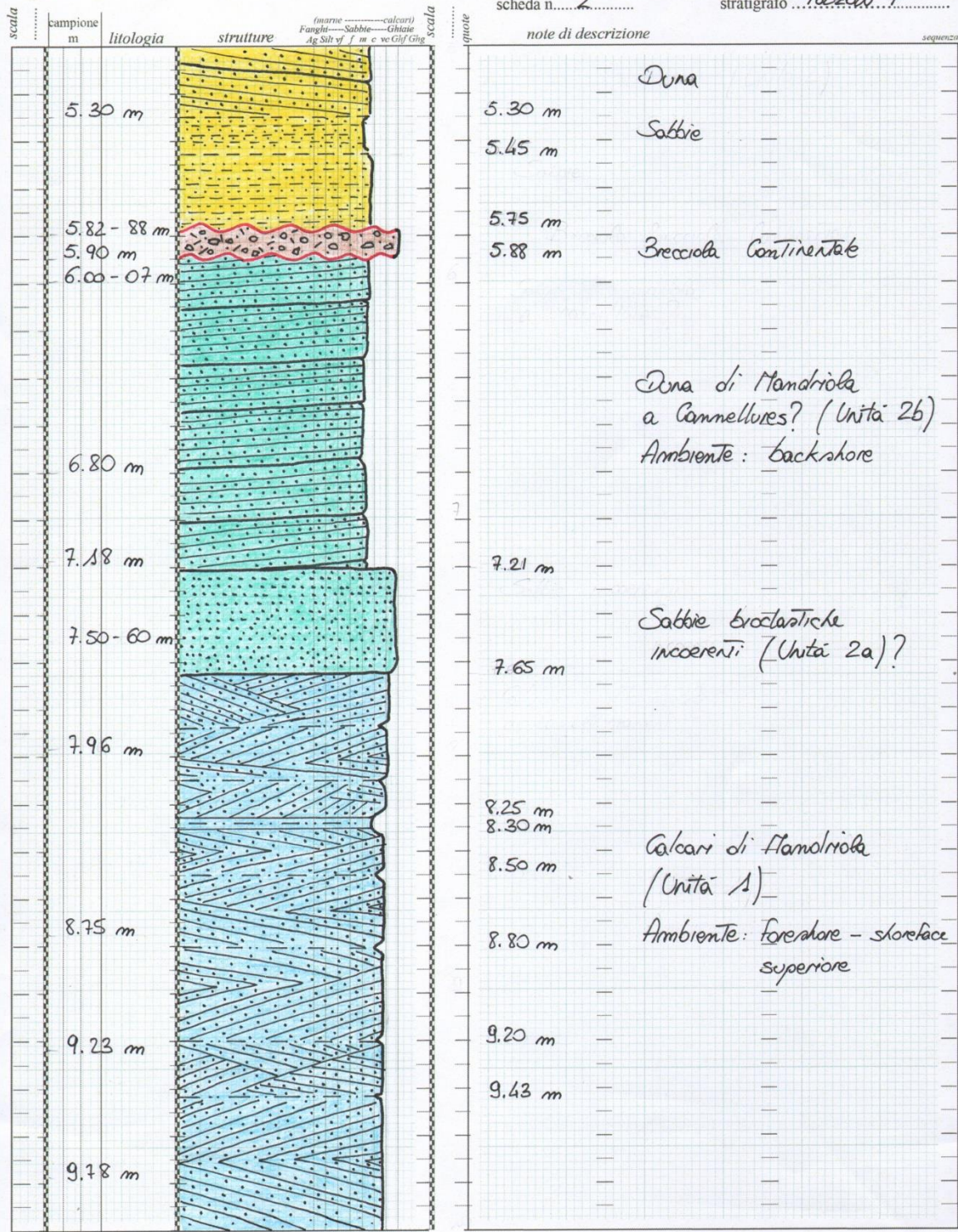
La scelta dei colori con cui è stato completato il log ha voluto evidenziare la variazione degli ambienti deposizionali per ciascuna unità. Tuttavia è stato osservato che la variazione di ambiente deposizionale è graduale e talvolta rende difficoltoso individuare un netto limite di passaggio da una facies all'altra; tale difficoltà è in accordo con il principio di Walter cioè della migrazione delle facies adiacenti che pertanto hanno caratteri sedimentologici simili.





Carotaggi 2016 CARG Oristano, area marina, coordinatore L. Lecca  
 Impresa esecutrice: Geosardinya Resp. Dott. Geol. A. Piredda, sonda: Atlas Copco, Mustang A 66 CBT;  $\phi$ : 90/110 mm

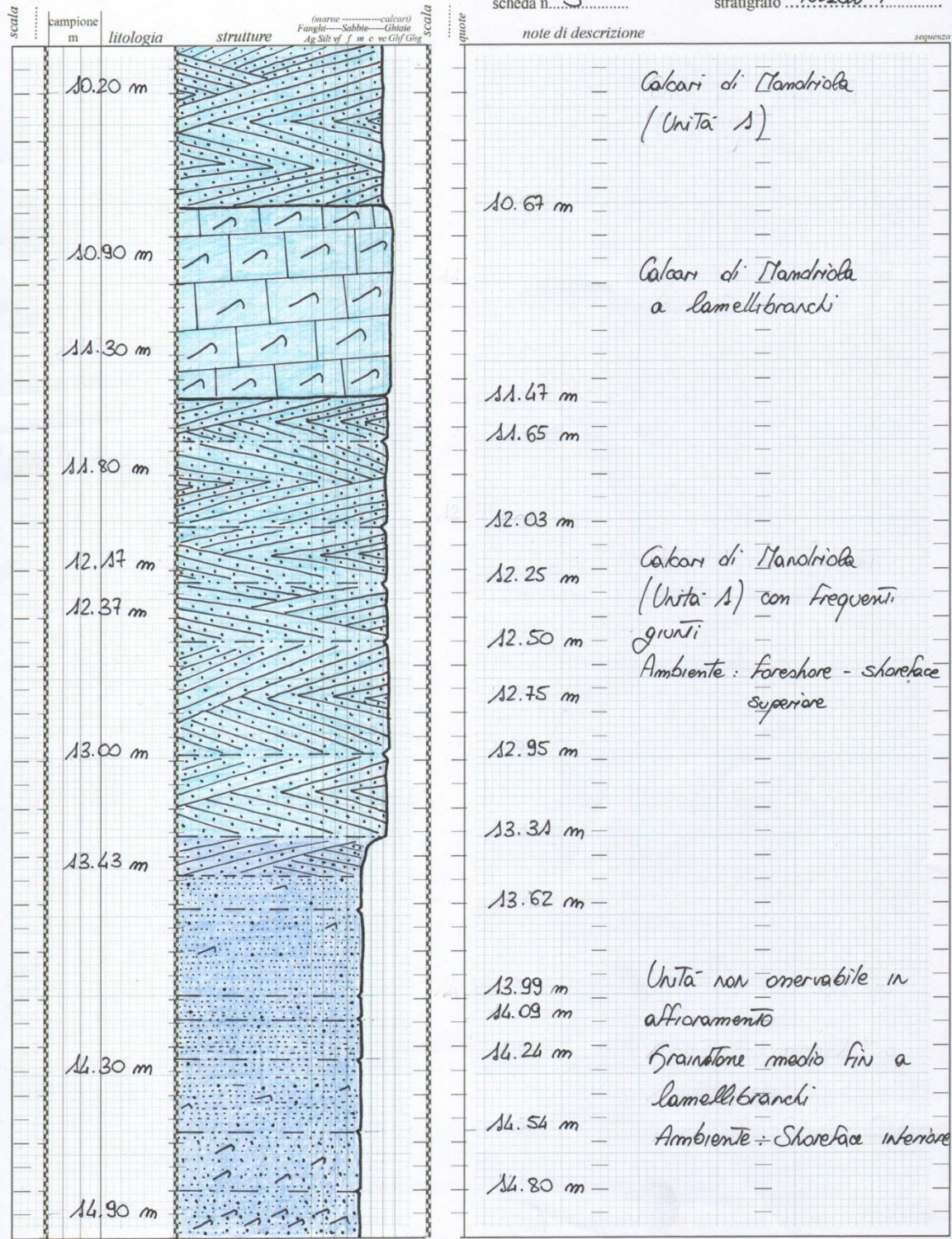
Figura 24 - Log stratigrafico del sondaggio Capo Mannu 0-5 metri.



Ag Silt of f m e ve Gh  
Fanghi - Sabbie - Ghiaie

Carotaggi 2016 CARG Oristano, area marina, coordinatore L. Lecca  
Impresa esecutrice: Geosardinya Resp. Dott. Geol. A. Piredda, sonda: Atlas Copco, Mustang A 66 CBT; φ: 90/110 mm

Figura 25 - Log stratigrafico del sondaggio Capo Mannu 5 - 10 metri.



Carotaggi 2016 CARG Oristano, area marina, coordinatore L. Lecca  
 Impresa esecutrice: Geosardinya Resp. Dott. Geol. A. Piredda, sonda: Atlas Copco, Mustang A 66 CBT;  $\phi$ : 90/110 mm

Figura 26 - Log stratigrafico del sondaggio Capo Mannu 10 -15 metri.

## 4-DISCUSSIONE

Come già detto, la tesi è inserita nelle attività di ricerca finalizzate a migliorare le conoscenze stratigrafiche sulla sequenza pliocenica presente sotto il Capo Mannu e di verificare la stratigrafia del Sinis nella parte meridionale di Capo Mannu, località Punta Sa Figu dove è stato ubicato il sondaggio Capo Mannu 1) e nella località Sa Mesa Longa dove è stato ubicato il sondaggio Capo Mannu 2). In particolare la tesi è stata rivolta al sondaggio CM1 perché l'intera descrizione e interpretazione avrebbe comportato un maggior impegno.

### 4.1-DIFFICOLTÀ DI RICONOSCIMENTO DI TERRENO

Nella prima fase di questa ricerca è stato svolto un breve rilevamento geologico sulle unità affioranti nella località di Punta Sa Figu (sede del primo sondaggio CM1). Le indagini hanno portato all'identificazione di 3 differenti unità e 1 paleosuolo, le unità sono poi state successivamente identificate tramite numeri (1-2-3-4) ai quali si è accompagnato l'utilizzo di lettere (a-b) per poter distinguere le unità e le loro divisioni interne. Nel momento del riconoscimento e distinzione dei corpi le difficoltà maggiori sono state incontrate nell'individuare il livello di transizione tra le differenti unità; anche nell'aspetto morfologico i corpi ad una prima osservazione risultavano molto simili e il limite risultava "sfumato" in quanto nei primi cm del passaggio venivano conservate le proprietà di entrambe le unità. La forma irregolare e inclinata delle dune non favoriva la correlazione laterale in quanto le facies di terreno risultavano spesso variabili lateralmente. La distinzione delle unità è stata possibile seguendo ciascun corpo di duna e annotando la posizione stratigrafica relativa alle dune adiacenti a prescindere dalle quote. Infatti in alcuni casi l'unità più recente può affiorare a quota più bassa di una più antica. Un altro valido supporto è stato fornito dalle particolari strutture presenti all'interno delle dune, come i rizoliti, i *cannellures* e la litofacies meglio precisata in seguito grazie alle osservazioni al microscopio.

Unità 3b = Arenite eolica a componente terrigena costituita da biotite e quarzo, la cementazione è da attribuire al ricircolo di carbonato di calcio che tuttavia non ha dato luogo a ricristallizzazioni, cioè nuova precipitazione di cemento sparitico.

Unità 3a = Arenite eolica a cemento carbonatico, con sporadiche ricristallizzazioni. La componente terrigena è costituita da minerali di quarzo e biotite. Sono presenti numerosi foraminiferi bentonici in prevalenza *Elphidium sp* e *Ammonia sp*. Le dimensioni dei foraminiferi ricadono tra le sabbie medie e le sabbie grosse.

Unità 2b = Arenite a foraminiferi bentonici, in prevalenza di *Elphidium sp* e *Ammonia sp sp*, con impurità terrigene ad opera della biotite e del quarzo. Le dimensioni dei foraminiferi ricadono tra le sabbie medie e sabbie grosse. È presente una forte diagenesi da parte della calcite.

Unità 2a = Arenite fortemente diagenizzata ad opera della calcite. La diagenesi rende difficoltosa l'individuazione dei foraminiferi. La presenza di materiale terrigeno risulta minore rispetto al campione dell'unità 2a

Unità 1 = Calcare a foraminiferi, *grainstone* a *Elphidium sp* e *Ammonia sp*

#### 4.2-DIFFICOLTÀ DI RICONOSCIMENTO NELLA CAROTA

Ad ogni estrazione le carote hanno subito una prima classificazione (descrizione di cantiere) e sono state quindi riportate all'interno di schede di descrizione dei log stratigrafici.

Nell'archivio del dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche si è potuta effettuare un'osservazione più dettagliata dei primi 15 m del sondaggio CM1, oggetto di studio per questa tesi. Questo più attento riconoscimento si è svolto attraverso un approccio diretto con l'evidenziazione delle caratteristiche più facilmente osservabili a occhio nudo. È stata quindi effettuata una prima suddivisione litologica – classe granulometrica – colore – tessitura – grado di alterazione – consistenza. In questa fase il riconoscimento è risultato difficoltoso poiché l'intera superficie della carota ha subito in seguito all'azione del carotiere un "rivestimento" nei primi millimetri superficiali (vedi paragrafi 3.1.2 e 3.1.3). Le carote così "rivestite" da una patina che obliterava gli effettivi caratteri dei campioni hanno avuto bisogno di una ripulitura e di un lavaggio in acqua. Spezzoni di carota che ad una prima osservazione apparivano con un comportamento plastico, dovuto al rivestimento causato dal carotiere, spesso risultavano invece al loro interno costituite da litofacies arenitiche ben litificate brecciate dalle operazioni di carotaggio. In questa fase oltre che alla attenta osservazione delle variazioni litologiche è stata effettuata la campionatura con intervalli di circa 30 cm finalizzata al successivo riconoscimento delle facies al microscopio.

#### 4.3-DIFFICOLTÀ DI RICONOSCIMENTO DELLE MICROFACIES

Nel riconoscimento delle micro-facies al microscopio le difficoltà erano attribuibili ai gradi di diagenesi da parte della calcite all'interno di ciascun campione. La distinzione degli strati attraversati e la loro attribuzione agli ambienti sedimentari, infatti deve tener conto del contenuto fossilifero e della presenza della componente terrigena, tali caratteri vengono spesso nascosti dal grado di cementazione.

- Nei punti di maggior presenza di cemento il contenuto fossilifero risultava interamente o parzialmente obliterato e la zonazione risultava di difficile interpretazione.

- Per quanto riguarda la presenza di componente terrigena si è dovuto determinare se questa rivestisse superficialmente il campione o lo caratterizzasse in tutta la sua interezza.

Durante queste analisi si è cercato di individuare materiali appartenenti all'attività vulcanica del Montiferro che in questo periodo andava formandosi. In entrambi i sondaggi eseguiti nel 2016, durante la presente attività di ricerca, non si è avuta una tale evidenza. Neanche nei sondaggi 2014 eseguiti a Mandriola nei primi metri di carotaggio è stata riscontrata alcuna presenza di clasti vulcanici. Solo nello studio delle sezioni della costa di Mandriola, Carboni & Lecca (1995) hanno individuato materiali vulcanici (fino a piccoli ciottoli di basalto), evidenza che è servita ad argomentare l'età pliocenica dei Calcari di Mandriola.

#### 4.4-DISCORDANZA TRA IL MESSINIANO E IL PLIOCENE

Con queste finalità l'interesse stratigrafico, oltre alle descrizioni delle facies sedimentarie (attraversate dal sondaggio e affioranti in superficie) e di un primo riconoscimento del loro contenuto fossilifero, era rappresentato dalla ricostruzione dei rapporti della sequenza pliocenica rispetto a quella messiniana, che come è noto si manifesta tramite la discordanza dei sedimenti pliocenici su quelli messiniani.

Da questo punto di vista, solo il sondaggio CM 2 ha incontrato la discordanza pliocenico-messiniana, nonostante entrambi i sondaggi si sono spinti ad una profondità di 50 m al di sotto il punto di carotaggio. Una possibile interpretazione nello spiegare il perché la superficie di discontinuità venga incontrata solo dal sondaggio CM2 potrebbe essere fornita da una variazione nella paleo-batimetria del fondale che va approfondendosi verso ovest (nell'area antistante alla località Punta Sa Figù) rispetto alle zone meno profonde, situate più a est nel Sinis. Tale approfondimento della paleo superficie messiniana verso Ovest ha quindi impedito l'incontro della discordanza. Nel sondaggio CM 2 la discordanza Pliocene-Messiniano, invece, è stata attraversata a circa 36 m al di sotto del piano di campagna (+2-+3 m s.l.m.).

A conferma dell'ipotesi di una variazione della batimetria in prossimità della area del sondaggio CM1 è stato utile il confronto con le precedenti attività di sondaggio svolte nel 2014 sempre nel comune di S. Vero Milis, nei pressi di Mandriola dove la stessa discordanza è stata incontrata a circa 23 m al di sotto della superficie di carotaggio (+2 m s.l.m.; D'Aietti, 2014; Lecca, 2014). In un'ipotetica sezione con direzione Est – Ovest la discordanza messiniana manterrebbe un andamento tabulare fino alla località di Punta Sa Figù (Figura 27).

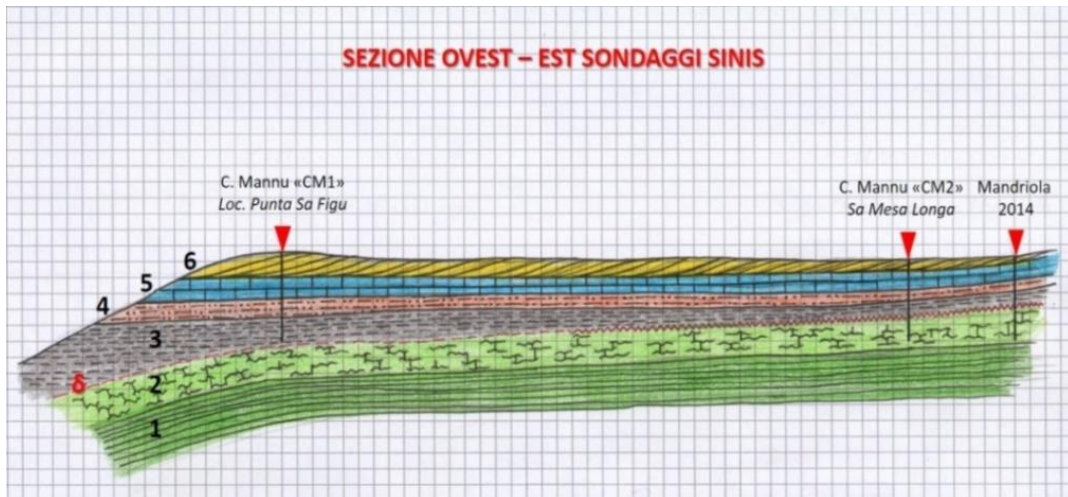


Figura 27 - Sezione (non in scala) rappresentativa dei sondaggi svolti nella parte settentrionale della penisola del Sinis e delle principali unità attraversate. Solamente i sondaggi nella Loc. Sa Mesa Longa e a Mandriola hanno incontrato la discordanza pliocenica sul Messiniano ( $\delta$ ). Unità 1 = laminati del Sinis; unità 2 = formazione di Turre Seu;  $\delta$  = discordanza,  $\delta 6?$ ; Unità 3 = fanghi grigi; unità 4 = fanghi beige con intercalazioni arenacee; unità 5 = calcari di Mandriola; unità 6 = dune plioceniche

#### 4.5-TRANSIZIONE DA FACIES MARINE A FACIES EOLICHE

A circa 9 m rispetto al piano campagna del sondaggio CM1, un elemento stratigrafico su cui si deve porre l'attenzione è l'osservazione nella variazione litologica e di ambiente. Si evidenzia infatti il passaggio da facies di ambiente marino *shoreface* – *foreshore*, spesso a lamellibranchi a areniti a facies eoliche di ambiente costiero (dune). Tale transizione testimonierebbe la destabilizzazione del clima verso la fine del Pliocene, quando da un “Pliocene caldo” si è andati verso un Pliocene-Pleistocene più freddo con ciclicità di 41 ka, determinando quindi le variazioni eustatiche, sempre più in abbassamento, che hanno consentito la migrazione degli ambienti deposizionali, cioè causando le emersioni degli *shoreface*. L'età di questa transizione dovrebbe essersi verificata tra 3,5 e 3 Ma circa (Figura. 28). Nel sondaggio queste variazioni corrisponderebbero alle intercalazioni osservate dai metri 6 – 9.

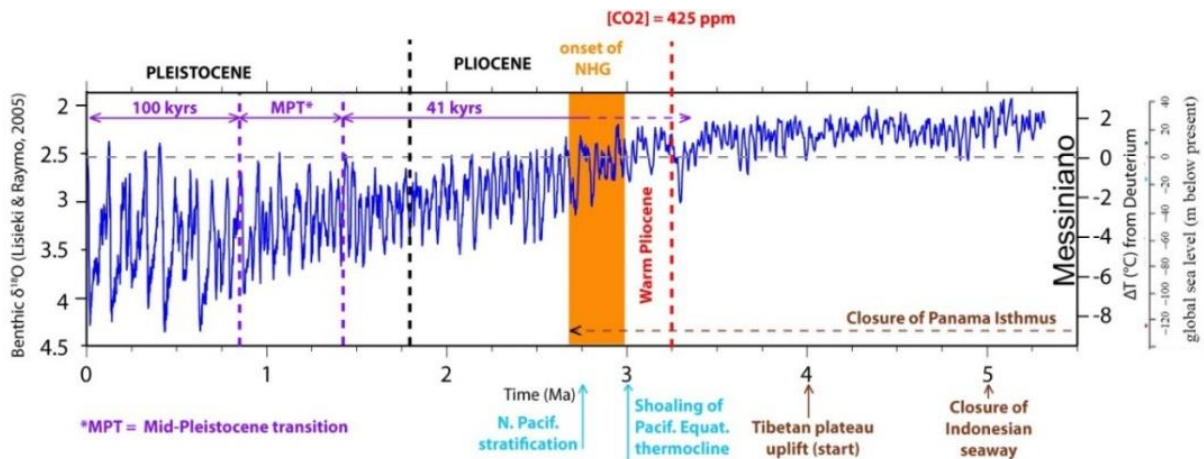


Figura 28 - Sintesi delle variazioni climatiche del Pliocene e del Quaternario (post-Messiniano): curva delle variazioni  $\delta^{18}\text{O}$  / temperature e livello del mare avvenute nel post-Messiniano; NHG: Northern Hemisphere glaciation. Da Lisiecki & Raymo, 2005.





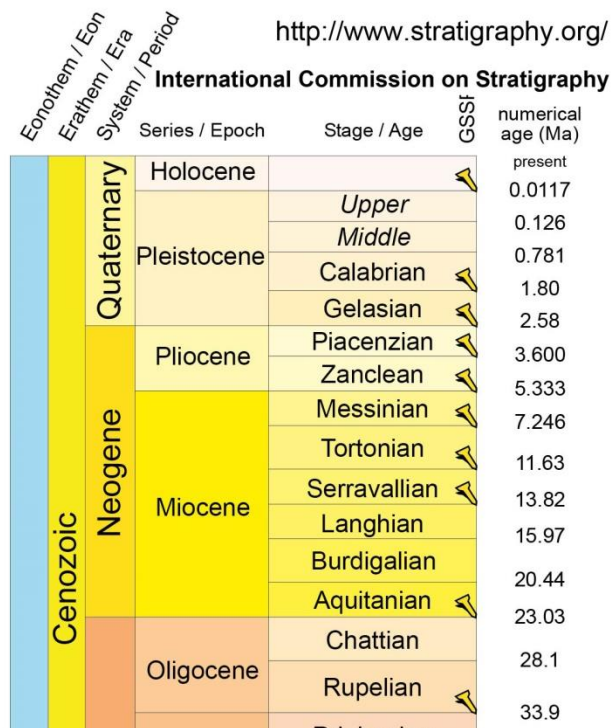


Figura 30 – Cronostratigrafia dell’Oligocene - Olocene, I.C.S., 2016/4 (WWW.stratigraphy.org).

La stratigrafia documenta che durante il Pliocene (circa 3 Ma, Piacenziano, Figura 30) l’ambiente deposizionale di piattaforma interna del Sinis si è evoluto da un *shoreface* inferiore a un *shoreface* superiore- *foreshore* e infine è emerso, evidenziato dal potente corpo dunare con intercalazioni colluviali al suo interno. L’emersione è probabilmente attribuibile a un generale e progressivo abbassamento del livello del mare durante il Pliocene medio. Il passaggio tra ambiente marino e ambiente continentale, successivamente alla nuova ingressione del mar Mediterraneo, non risulta netto, numerose sono le intercalazioni tra arenarie eoliche e livelli calcarei attribuibili ai calcari di Mandriola.

Tale alternanza, verso il basso stratigrafico, scompare dopo circa 9 metri, lasciando spazio a delle intercalazioni strato- interstrato di ambiente marino *offshore* superiore – *shoreface* inferiore a facies con componente bioclastica a lamellibranchi.

## 5-CONCLUSIONI

1-Sono state seguite le perforazioni di due sondaggi a carotaggio continuo (C. Mannu 1 e C. Mannu 2) che hanno attraversato la sequenza pliocenica.

2- Nel sondaggio ubicato in località Punta Sa Figu non è stata attraversata la discordanza messiniana mentre nel sondaggio C. Mannu 2 ubicato a Sa Mesa Longa la discordanza è stata incontrata ad una profondità di circa 36 m rispetto al piano di campagna.

3-È stato effettuato un rilevamento che ha consentito di individuare quattro unità superficiali: una di ambiente di spiaggia e tre di ambiente continentale eolico correlabili con la sequenza attraversata in sondaggio C. Mannu 1.

4-È stato eseguito un riconoscimento litologico di cantiere e delle micro-facies al microscopio binoculare dei campioni del sondaggio C. Mannu 1.

5-È stato ricostruito il log stratigrafico schematico dell'intera perforazione Capo Mannu 1 e nel dettaglio dei primi 15 metri del sondaggio.

6-È stato possibile riconoscere, nel sondaggio C. Mannu 1, sulla base delle micro-facies la variazione degli ambienti deposizionali da marino poco profondo a continentale dunare in un periodo di tempo pliocenico attorno, ai 3 Ma (Piacenziano).

## BIBLIOGRAFIA

- A.A.V.V. 1981 Carta Geologica d'Italia 1:100.000. Rilevamenti del 1950-60. Selca, 1988.
- BOSELLINI A., MUTTI E., RICCI LUCCHI F., 1997 - Rocce e successioni sedimentarie. - UTET, 395pp.
- ABBAZZI L., CARBONI S., DELFINO M., GALLAI G., LECCA L. & ROOK L., 2008. Fossil vertebrates (Mammalia and Reptilia) from Capo Mannu (Late Pliocene, Western Sardinia, Italy) with description of a new *Testudo* (Chelonii, Testudinidae) species. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 114(1): 119-132.
- CARBONI S. & LECCA L., 1985 - Osservazioni sul Pleistocene superiore della penisola del Sinis (Sardegna occidentale) - *Boll. Soc. Geol. It.*, 104 (1985), pp. 459-477.
- CHERCHI A., MARINI A., MURRU M., ROBBA E., 1978 - Stratigrafia e paleoecologia del miocene superiore della penisola del Sinis (Sardegna occidentale). - *Atti Soc. It. Sc. Paris* 84, n. 4 (1978): 973-1036.
- CHERCHI A., 1973 - Appunti biostratigrafici sul pliocene in Sardegna. - *Boll. Soc. Geol. It.*, 92, p. 891-902.
- CORNÉE J.J., MAILLARD A., CONESA G., GARCIA F., SAINT MARTIN J.P., SAGE F., MÜNCH P., 2008. - Onshore to offshore reconstruction of the Messinian erosion surface in Western Sardinia, Italy: Implications for the Messinian salinity crisis - *Sedimentary Geology* 210, pp. 48-60
- D'AIETTI F., 2014 – Descrizione litostratigrafia della parte interna della sequenza pliocenica attraversata in sondaggio nel Sinis settentrionale - *Tesi inedita, Relatore Lecca L.*, Univ. Cagliari, 45 pp.
- DI BATTISTINI G., MEZZADRI G. & ZERBI M., 1974 - Su un affioramento della formazione andesitoide superiore nei sedimenti quaternari del Sinis (Sardegna centro-occidentale). - *Acta Nat*, 1974, 59-81.
- GULLI R., 2011 - La crisi di salinità messiniana e le evaporiti siciliane. - Dipartimento di scienze della Terra, Università di Palermo.
- FRANCOLINI L., LECCA L. & MAZZEI R., 1990 - La presenza del Pliocene inferiore nella piattaforma continentale della Sardegna occidentale. - *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat.*, Mem. ser A, 97, 93-111, Pisa 1990.
- LECCA I., 2014 – Descrizione stratigrafica della parte alta della sequenza pliocenica attraversata in sondaggio nel Sinis settentrionale - *Tesi inedita, Relatore Lecca L.*, Univ. Cagliari, 40pp.
- LISIECKI, L. & RAYMO, M., 2005 - A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic D18O records - "*Paleoceanography*", 20, PA1003.
- PECORINI, G., 1972. - La trasgressione pliocenica nel Capo S. Marco (Oristano, Sardegna occidentale). - *Boll. Soc. Geol. It.*, 91, p. 365-372.
- PECORINI, G., RAGE, J.-C. et THALER, L., 1974. - La Formation continentale de Capo Mannu, sa faune de Vertébrés pliocènes et la question du Messinien en Sardaigne. - *Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari*, suppl. vol. 43, Bologna, p. 305-320.
- SILENZI, S., ANTONILI, F., 2007. - Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane. - *Quaderni della Soc. Geo. It.* N°2, Ottobre 2007.
- SUCCU D., 2014. - Distinzione di facies calcaree messiniane e plioceniche nei dintorni di Scal'e Sale. - *Tesi inedita, Relatore Lecca L.*, Univ. Cagliari, 50 pp.
- VARDABASSO S., 1963 – Die ausseralpine taphrogenese im Kaledonish-variszisch konsolidierten sardischen vorlande. *Geol. Rundschau*, bd. 53, p. 613-630.
- WAELEBROECK, C., LABEYRIE, E. MICHEL, J. C. DUPLESSY, J. F. MCMANUS, K. LAMBECK, E. BALBON, AND M. LABRACHERIE (2002), Sea-level and deep water temperature changes derived from benthonic foraminifera isotopic records, *Quat. Sci. Rev.*, 21,

### Sitografia

- [http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/528\\_ORISTANO/Foglio.html](http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/528_ORISTANO/Foglio.html);  
[http://193.206.192.231/carta\\_geologica\\_italia/tavoletta.php?foglio=205-206](http://193.206.192.231/carta_geologica_italia/tavoletta.php?foglio=205-206)  
<http://www.foraminifera.eu>  
<http://www.stratigraphy.org>