

# *Geological Field Trips*

2010

Vol. 2 (2.2)

ISSN: 2038-4947



*Società Geologica  
Italiana*



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

**SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA**  
Organo Cartografico dello Stato (legge N°88 del 2-2-1960)  
Dipartimento Difesa del Suolo

**La successione tardo quaternaria della Sardegna settentrionale:  
implicazioni paleogeografiche e paleoclimatiche**

84° Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana - Sassari, 2008 - Escursione E04

DOI: 10.3301/GFT.2010.04

## GFT - *Geological Field Trips*

Periodico semestrale del Servizio Geologico d'Italia - ISPRA e della Società Geologica Italiana  
Geol.F.Trips, Vol.2 No.2.2 (2010), pp. 42, 20 figs., 1 tab. (DOI 10.3301/GFT.2010.04)

### La successione tardo quaternaria della Sardegna settentrionale: implicazioni paleogeografiche e paleoclimatiche

84° Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana - Sassari, 2008 - Escursione E04

**Vincenzo Pascucci\***, **Stefano Andreucci\***, **Lars Clemmens\*\***, **Fabio Fanelli°**,  
**Angelo Ibbà°**, **Claudio Zucca°°**, **Salvatore Madrau°°°**

\*Dipartimento di Scienze Botaniche, Ecologiche e Geologiche, Università di Sassari

\*\*Institute of Geography and Geology, University of Copenhagen, Denmark

°Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Cagliari

°°Centro Interdipartimentale di Ateneo NRD-UNISS (Nuc. Ric. Desert.) c/o Dip. Strutt. Serv. Gen. Fac. di Agraria, Università di Sassari

°°°Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Università di Sassari

Corresponding author e-mail address: [pascucci@uniss.it](mailto:pascucci@uniss.it)

Responsible Director

*Leonello Serva* (ISPRA-Roma)

Editor in Chief

*Gloria Ciarapica* (SGI-Perugia)

Editorial Responsible

*Maria Letizia Pampaloni* (ISPRA-Roma)

Editorial Manager

*Mauro Roma* (ISPRA-Roma)

Convention Responsible

*Anna Rosa Scalise* (ISPRA-Roma)

*Alessandro Zuccari* (SGI-Roma)

Editorial Board

*M. Balini, G. Barrocu, C. Bartolini, D. Bernoulli,  
F. Calamita, B. Capaccioni, W. Cavazza, F.L. Chiocci,  
R. Compagnoni, D. Cosentino, S. Critelli, G.V. Dal Piaz,  
C. D'Ambrogio, P. Di Stefano, C. Doglioni, E. Erba,  
R. Fantoni, P. Gianolla, L. Guerrieri, M. Mellini, S. Milli,  
M. Pantaloni, V. Pascucci, L. Passeri, A. Peccerillo,  
L. Pomar, P. Ronchi (Eni), B.C. Schreiber, L. Simone,  
I. Spalla, L.H. Tanner, C. Venturini, G. Zuffa.*

ISSN: 2038-4947 [online]

[http://www.isprambiente.it/site/it-IT/Pubblicazioni/Periodici\\_tecnici/Geological\\_Field\\_Trips](http://www.isprambiente.it/site/it-IT/Pubblicazioni/Periodici_tecnici/Geological_Field_Trips)

The Geological Survey of Italy, the Società Geologica Italiana and the Editorial group are not responsible for the ideas, opinions and contents of the guides published; the Authors of each paper are responsible for the ideas, opinions and contents published.

Il Servizio Geologico d'Italia, la Società Geologica Italiana e il Gruppo editoriale non sono responsabili delle opinioni espresse e delle affermazioni pubblicate nella guida; l'Autore/i è/sono il/i solo/i responsabile/i.

INDEX

Information

Riassunto .....4  
 Abstract .....4  
 Primo Giorno .....5  
 Secondo Giorno .....6

Excursion notes

1. Introduzione .....7  
 2. Geomorfologia .....8  
 3. Inquadramento geologico .....9  
     Alghero .....10  
     Porto Palmas .....11  
 4. Analisi di facies .....12  
     4.1 Associazione di facies Bg: spiagge ghiaiose .....12  
     4.2 Associazione di facies Bs: spiagge sabbiose .....13  
     4.3 Associazione di facies E: eolica .....13  
     4.4 Associazione di facies A: alluvionale .....14  
     4.5 Associazione di facies W: paleosuoli .....14  
 5. Stratigrafia .....15  
     Alghero .....15  
     Porto Palmas .....21

6. Le tracce di movimento (*trackways*) .....21  
 7. I paleosuoli sepolti alla base della sequenza eolica würmiana .....25

Itinerary

Primo giorno

Stop 1.1: Stratigrafia dei depositi quaternari di Alghero .....27  
 Stop 1.2: Punta del Lavatoio (Alghero) Depositi tirreniani (OIS5) e depositi würmiani (OIS4) .....29  
 Stop 1.3: Paleosuolo al passaggio OIS5-OIS4 .....31  
 Stop 1.4: Depositi eolici tirreniani e würmiani .....32  
 Stop 1.5 (opzionale): Depositi eolici würmiani .....34

Secondo giorno

Stop 2.1: Riempimento di una valle incisa .....36  
 Stop 2.2: Conoidi alluvionali .....38  
 Stop 2.3: Depositi eolici .....39

References .....41

## Riassunto

I depositi quaternari affiorano in modo pressoché continuo lungo tutta la costa della Sardegna. Obiettivo dell'escursione è l'analisi delle successioni tardo quaternarie della Sardegna settentrionale, in particolare quelle affioranti lungo la costa compresa tra Alghero e Argentiera (prov. Sassari).

Gli studi recenti condotti su questi depositi hanno permesso di ricostruire la stratigrafia del tardo Quaternario in riferimento alla stratigrafia isotopica dell'ossigeno. Sono state riconosciute 4 unità a limiti in conformi (U1, U2, U3, U4), rispettivamente riferite agli stadi OIS7, OIS6, OIS5 e OIS 4.

La successione sarà analizzata da un punto di vista sia stratigrafico-sequenziale che sedimentologico cercando di sottolineare le evidenze utili ad una ricostruzione paleoclimatica e paleogeografica dell'area centro mediterranea degli ultimi 200.000 anni.

Parole chiave: *Quaternario, Datazioni OSL, OIS5, Glaciale, Interglaciale, Sardegna*

## Abstract

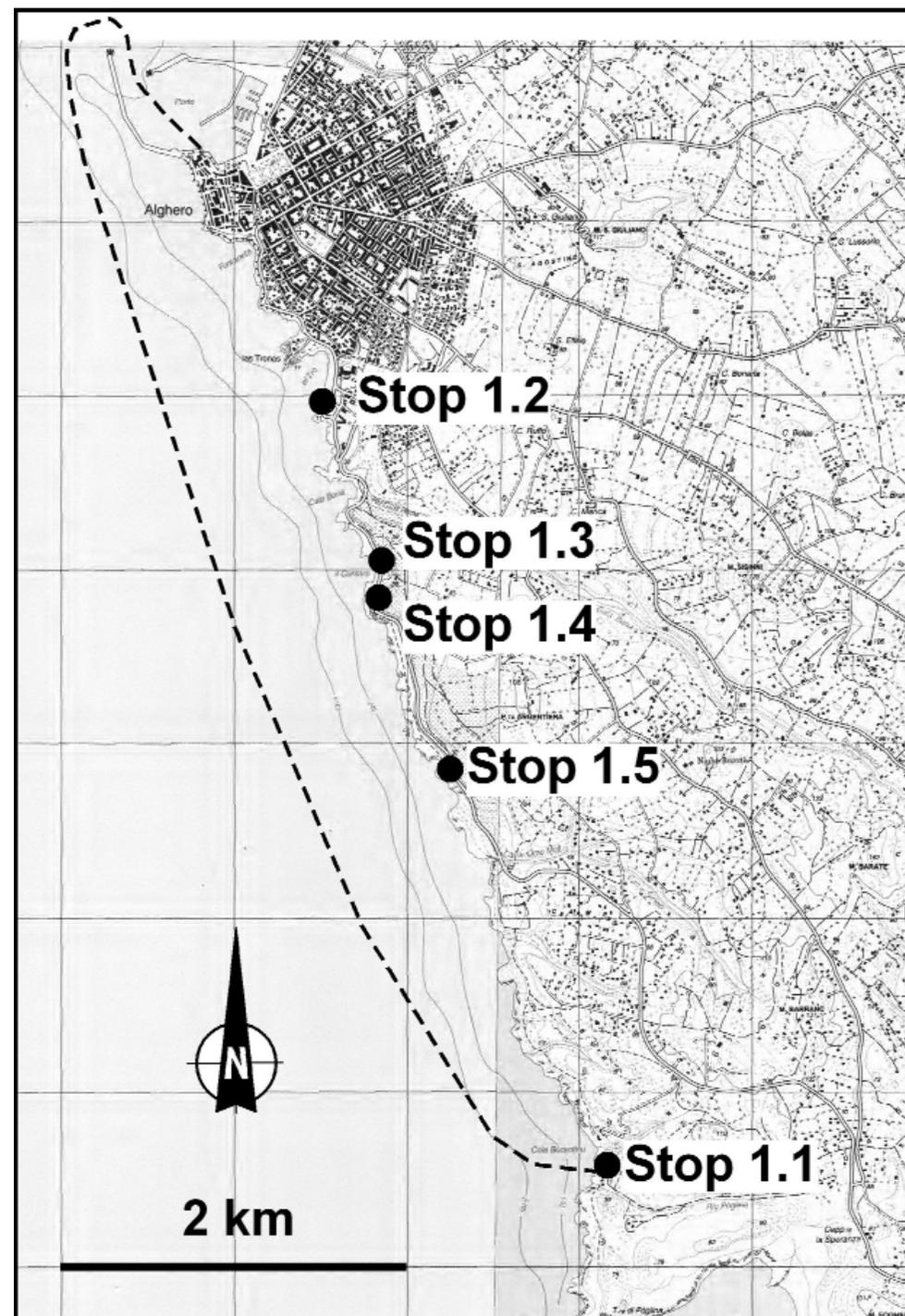
Field trip is addressed to the analysis of the Late Quaternary deposits cropping out along the Alghero and Argentiera coast, in the Sassari province of NW Sardinia.

Recent studies have allowed us to group these Quaternary deposits in 4 unconformity bounded units (U1, U2, U3, U4) respectively referred to the Oxygen Isotopic Stages 7, 6, 5, and 4. The succession will be analyzed on a sequence stratigraphic context and all sedimentological aspects emphasised in order to make a paleogeographic reconstruction of this Centre Mediterranean area during the last 200ky.

Key words: *Quaternary, OSL dating, OIS5, Glacial, Interglacial, Sardinia*

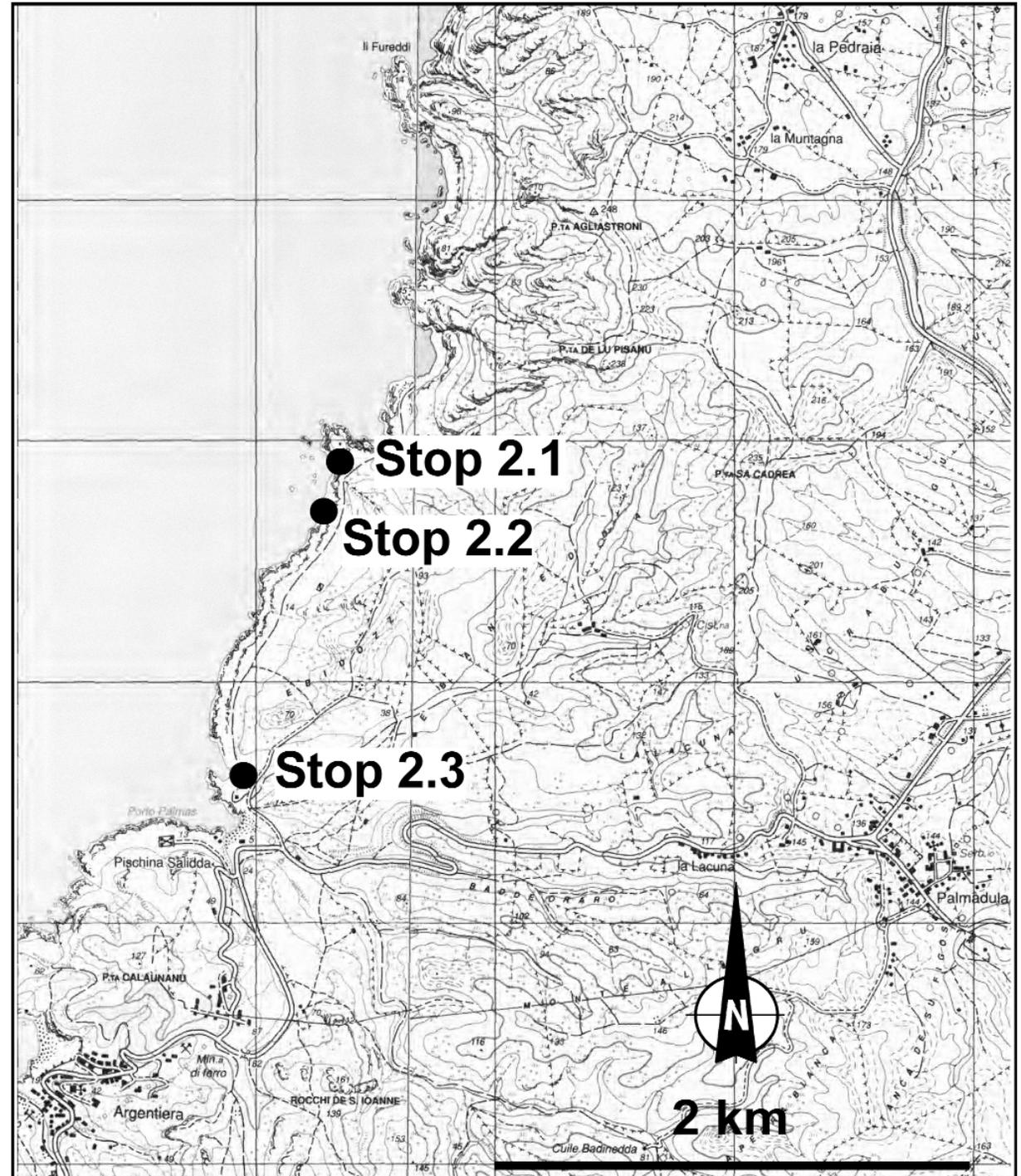
## Primo Giorno

Con una imbarcazione si raggiunge Cala Burantino situata a circa 5 miglia a sud di Alghero. La cala è composta da due piccole spiagge separate da un promontorio roccioso. Si rientra al Porto di Alghero da dove, seguendo le indicazioni per il centro, si raggiunge Piazza Sulis. Da lì si prosegue per circa 500 m lungo il Lungomare Dante per continuare poi lungo la SP105 in direzione Bosa. Gli affioramenti sono tutti ubicati lungo la costa sul lato mare (ovest) della strada.



## Secondo Giorno

Da Alghero si seguono le indicazioni prima per l'aeroporto e poi per Sassari. Dopo circa 11 km si raggiunge una rotatoria. Si prosegue dritto in direzione Porto Torres. Dopo circa 3 km si supera una stazione di servizio e si gira a sinistra al primo bivio in direzione Palmadula. Si prosegue per circa 6 km; si attraversa il paese di Palmadula ed al primo bivio (in prossimità di un distributore di benzina) si gira a sinistra in direzione Argentiera (ovest). Si prosegue in discesa per un strada a tornanti, molto panoramica. Dopo circa 2 km si raggiunge un'area di sosta. Si prende il primo bivio sulla destra (in corrispondenza di un bar-ristorante) e si prosegue per una strada sterrata abbastanza agevole. Si supera la spiaggia di Porto Palmas, si continua in leggera salita e si raggiunge un ampio spazio adibito a parcheggio. La strada sterrata continua per circa 2 km. I più temerari possono continuare in macchina. A piedi si raggiunge dopo circa 1.5 km il primo Stop. Ripercorrendo la strada in senso inverso si trovano gli altri stop. L'ultimo è in corrispondenza di un vecchio pozzo vicino al piazzale di parcheggio.





## 1. Introduzione

L'escursione ha come obiettivo l'analisi dei depositi tardo quaternari della Sardegna settentrionale, in particolare quelli affioranti lungo la costa compresa tra Alghero e Argentiera (Fig. 1).

La successione sarà analizzata da un punto di vista sia stratigrafico-sequenziale che sedimentologico cercando di sottolineare le evidenze utili ad una ricostruzione paleoclimatica e paleogeografica dell'area centro mediterranea degli ultimi 200.000 anni.

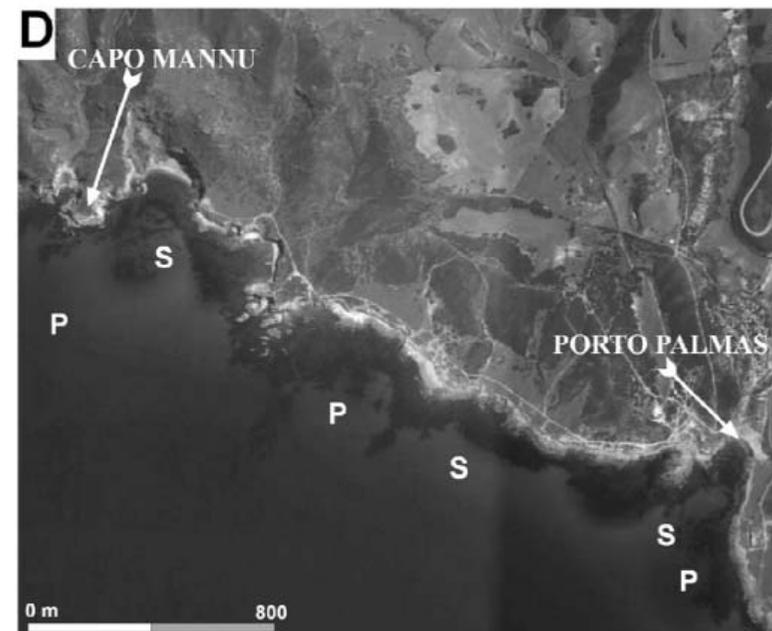
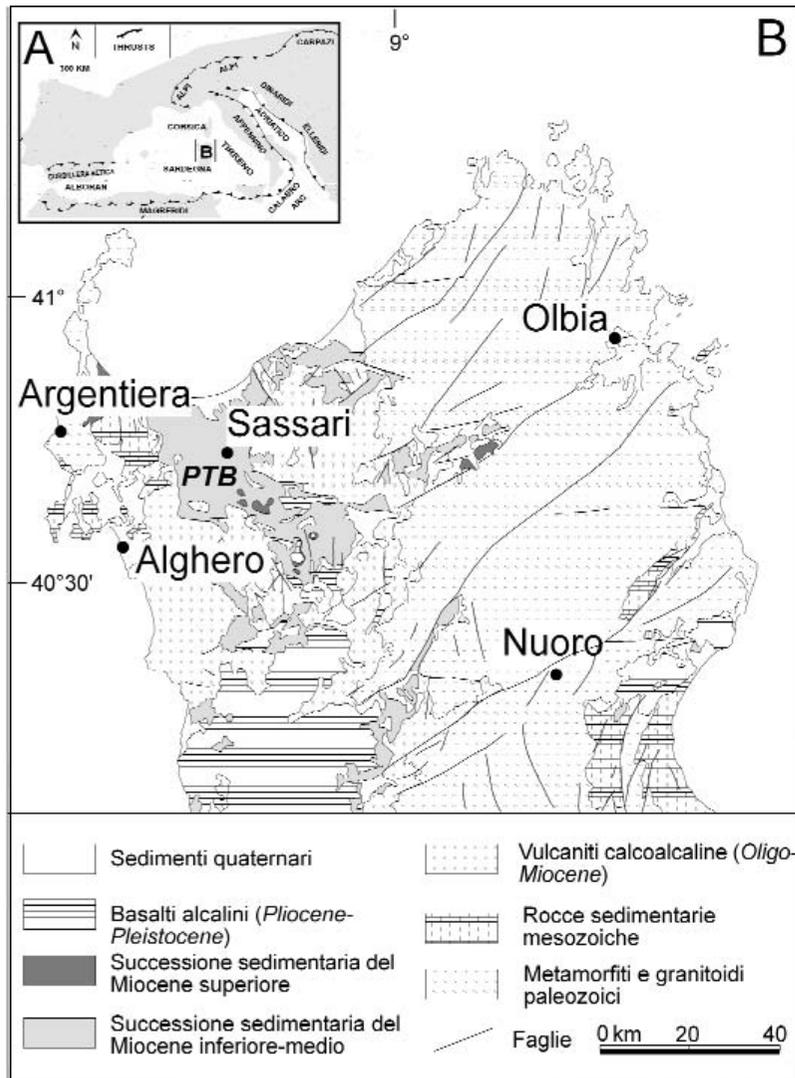


Fig. 1 -  
 A: Principali catene e bacini dell'area mediterranea.  
 B: Schema geologico della Sardegna settentrionale. PTB = Bacino di Porto Torres Logudoro.  
 C: La costa compresa tra Alghero e Cala Burantini (I giorno);  
 D: La costa compresa tra Porto Palmas a Capo Mannu (II giorno). Tipologia di fondale antistante la costa: S= sabbioso, P= prateria di *Posidonia oceanica*.



Nella prima parte della guida sarà presentato lo stato dell'arte degli studi geologici sul Quaternario della Sardegna; nella seconda saranno presentate le caratteristiche sedimentologiche delle successioni marine e continentali del tardo Quaternario dell'area oggetto dell'escursione; nella terza parte verranno discusse le età delle successioni affioranti.

## 2. Geomorfologia

La maggior parte dei depositi quaternari affiora in prossimità della costa, spesso riempiendo delle depressioni oggi reincise da corsi d'acqua attuali. È pertanto verosimile supporre che la morfologia della costa non sia molto cambiata negli ultimi 200.000 anni. La costa attuale è caratterizzata da lunghe falesie interrotte da piccole insenature dove si sviluppano *pocket-beaches* sia sabbiose che ghiaiose. Queste spiagge sono principalmente alimentate da correnti lungo costa che trasportano sia i clasti (*pebble* e *cobble*) derivanti dall'erosione delle falesie, sia sabbie bioclastiche provenienti dalla prateria a *Posidonia oceanica*. Nelle figure 1C e 1D è possibile osservare come queste praterie si sviluppino in aree prospicienti la costa (da 5 metri fino a circa 40 metri di profondità). In minor misura alcuni corsi d'acqua effimeri, ma a carattere torrentizio, incidono profonde vallate (0.5-2.5 km di lunghezza per 10-70 m di larghezza e fino a 50 m di profondità) e trasportano occasionalmente sedimento alla spiaggia. Le dune costiere che si sviluppano solo nelle spiagge con una vasta area di retrospiaggia (*backshore*) possono essere seguite verso l'interno per circa 0.5 km. Le dune sono principalmente di tipo parabolico anche se non mancano cordoni e alcune barcane. La loro orientazione (NO-SE) indica che i venti dominanti soffiano dai quadranti nord-occidentali (maestrale); l'altezza massima delle dune costiere attuali è di circa 30 metri.



### 3. Inquadramento geologico

La Sardegna è una delle maggiori isole del Mediterraneo e presenta uno dei contesti geologici italiani più vari (Fig. 1). È conosciuta sicuramente meglio per le successioni metamorfiche paleozoiche e carbonatiche giurassico-cretaciche che occupano la maggior parte dell'Isola. Tuttavia lungo la sua costa affiorano spesso depositi quaternari, principalmente silicoclastici, riferiti ad un generico Tirreniano (se marini) o al Würm (se continentali) (Fig. 1B).

La Sardegna con la vicina Corsica hanno costituito parte del settore meridionale del Continente Europeo (Penisola Iberica e Francia meridionale) dal quale si sono separate in seguito all'apertura (*rift*) del Bacino Balearico (Cherchi & Montadert, 1982). Di questo, a partire dall'Oligocene costituiscono il margine continentale orientale (Carmignani et al., 2001; Fig. 1A). Questo processo di *rifting* ha portato alla formazione di numerosi bacini sedimentari. Tra questi il *graben* del Campidano ed il Bacino di Porto Torres-Logudoro (PTB) sono sicuramente i più importanti (Fig. 1B) (Casula et al., 2001; Funedda et al., 2003 *cum bibl.*). La sedimentazione (*synrift*) in questi bacini è strettamente legata alla tettonica che continua la sua attività fino al Tortoniano quando si instaurano condizioni di *postrift*. A partire dal Pliocene si sviluppa un intenso magmatismo alcalino che segna la fine della deposizione nei bacini sedimentari (Carmignani et al., 2001; Funedda et al., 2003). Dal Pliocene superiore la Sardegna è considerata stabile (Ferranti et al., 2006) e pertanto studiata per definire l'entità delle variazioni del livello del mare del Quaternario (Andreucci et al., 2006, 2009, 2010a, 2010b; Antonioli et al., 2007 *cum bibl.*).

La successione quaternaria della Sardegna è ben conosciuta e studiata fin dagli anni '50 (Pecorini 1954, 1963; Oppes, 1973; Ozer, 1976; Ulzega & Ozer, 1982; Belluomini et al., 1985, 1986; Carboni & Lecca, 1985; Ulzega & Hearty, 1985; Hearty, 1986; Forti & Orrù, 1995; Kindler et al., 1997; De Muro & Orrù, 1998). Nella Penisola del Sinis (S. Giovanni di Sinis, Sardegna centrale) si trova una delle successioni meglio esposte, più studiate e meglio datate del Tirreniano (Carboni & Lecca, 1985; Kindler et al., 1997; Belluomini et al., 1985; Andreucci, 2006; Andreucci et al., 2007; Lecca & Carboni, 2007). Il Tirreniano, noto nell'Europa settentrionale con il nome di Eemiano, corrisponde al sub-stadio isotopico  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  OIS 5e o al substadio degli isotopi marini (MIS) 5.5 (Shackleton et al., 2003).

La successione quaternaria giace in discordanza sul substrato miocenico ed è costituita da una alternanza di depositi marini e continentali.



I depositi marini sono caratterizzati da arenarie e conglomerati di spiaggia sia sommersa che emersa, spesso contenenti *Strombus bubonius* e *Patella ferruginea*. La presenza di questa fauna fossile ad affinità senegalese (fauna sub-tropicale) ha permesso di riferire gli strati marini alla trasgressione tirreniana (125 ky; Oppes, 1973; Ozer, 1976; Federici et al., 1987; Carmignani et al., 2001).

I depositi continentali sono caratterizzati principalmente da arenarie sia di ambiente eolico che alluvionale ed attribuiti alla regressione würmiana (Ozer, 1976; Federici et al., 1987; Carmignani et al., 2001; Andreucci et al., 2010a, 2010b). Per alcune località, alcuni Autori ipotizzano una età tirreniana o addirittura pre-tirreniana delle arenarie eoliche (Pecorini, 1954; 1963; Oppes, 1973; Ozer, 1976; Federici et al., 1987).

Una recente datazione della successione tardo quaternaria affiorante a S. Giovanni di Sinis effettuata tramite luminescenza ottica (*Optically Stimulated Luminescence*, OSL) ha permesso di riferirla all'intervallo OIS7-OIS4 (186-84 ± 10 Ky) (Andreucci et al., 2009). La revisione stratigrafico-sedimentologica ha consentito una sua suddivisione in 4 unità a limiti inconformi (U1, U2, U3, U4 - *unconformity bounded units*). La prima unità U1 si sviluppa su una superficie erosiva (T1) collegata alla trasgressione marina avvenuta durante lo stadio interglaciale OIS7. La seconda U2 è riferita alla fase regressiva sviluppatasi durante la caduta del livello dal mare avvenuta nello stadio isotopico OIS6. L'unità U3 si sviluppa sulla superficie di trasgressione T2. In particolare questa unità è riferita allo stadio interglaciale OIS5 (Tirreniano) ed è suddivisibile in due sottounità (U3a e U3b) separate da una superficie di trasgressione T3, meno evidente delle precedenti. La sottounità U3a è riferita allo stadio OIS5e (120 ± 10 Ky) e, quindi, alla trasgressione eu-tirreniana. La sottounità U3b è riferita allo stadio OIS5c (100 ± 5 Ky) e registra un secondo evento trasgressivo avvenuto durante il neo-Tirreniano. L'unità U4 è relativa alla fase regressiva che si è sviluppata a partire dallo stadio glaciale OIS4 (post 90 ky) (Andreucci, 2006; Andreucci et al., 2009).

Due sono le località che verranno visitate durante l'escursione (Fig. 1): Alghero e Porto Palmas (Argentiera).

### Alghero

Gli affioramenti presso Alghero sono ubicati lungo la strada provinciale costiera che collega la città con Bosa. Sono per la maggior parte caratterizzati da basse falesie (10 m la massima altezza) spesso a picco sul mare o raccordate a questo da un terrazzo di abrasione marina. Rare sono le spiagge di norma molto piccole e ghiaiose (*pebbles* e *cobbles*). Fa eccezione la spiaggia di Cala Burantino, una *pocket-beach* sabbiosa ubicata alla fine di un corso d'acqua effimero (Fig. 1C).



Negli affioramenti di Alghero sono presenti tre unità tardo quaternarie: U2, U3 e U4. Queste poggiano in discordanza su diversi termini mesozoici. In particolare sui depositi silicoclastici e carbonatici del Triassico, sui calcari del Giurassico e sulle rocce magmatiche (rioliti, ignimbriti) oligo-plioceniche.

La prima unità e la terza unità sono litologicamente molto simili e costituite da una successione continentale prevalentemente arenacea (eolianiti). La seconda unità è costituita da una successione arenacea e conglomeratica marina. Sono presenti le due sottounità U3a e U3b. Le unità U3 e U4 sono separate da un paleosuolo rosso continuo alla scala dell'affioramento.

### Porto Palmas

Gli affioramenti presso Porto Palmas sono ubicati lungo il tratto di costa che dalla spiaggia di Porto Palmas si sviluppa verso NO in direzione Capo Mannu. La costa è caratterizzata da una falesia bassa (10 m massimo) di norma raccordata al mare da un terrazzo di abrasione marina. Numerose piccole *pocket-beach* sia sabbiose che ghiaiose (*granules*) si alternano lungo la costa.

A Porto Palmas affiorano solo due unità tardo quaternarie: U3 e U4. Queste poggiano in discordanza sulle filadi e quarziti siluriane appartenenti al basamento ercinico. L'unità U3, presente con le due sottounità U3a e U3b, è costituita prevalentemente da arenarie di origine marina. L'unità U4 è costituita da conglomerati (dominanti nella parte basale) di origine alluvionale ed arenarie eoliche (nella parte sommitale).



## 4. Analisi di facies

S. Andreucci & V. Pascucci

L'analisi sedimentologica della successione quaternaria ha permesso di riconoscere 9 litofacies (Tab. 1). Queste sono state raggruppate in 5 associazioni di facies: due marine (Bg e Bs) e tre continentali (A, E, W).

### 4.1 Associazione di facies **Bg**: spiagge ghiaiose

La associazione di facies **Bg** include le facies *Gsc* e *Gsf*. Si trova generalmente alla base dell'unità U3a o la occupa interamente. La sua base è rappresentata da una discordanza erosiva che taglia il substrato. Al tetto è generalmente troncata sia dai depositi dell'unità U4 che dalla superficie di trasgressione T3 quando è sormontata dall'unità U3b. In alcuni casi un colluvio rosso (*Xmb(c)*) la divide dalle soprastanti associazioni. È caratterizzata da strati generalmente massivi e mal stratificati di spessore variabile da pochi centimetri ad un metro. **Bg** è l'associazione di facies più fossilifera dell'intera successione tardo quaternaria. In alcune località i fossili rappresentano i clasti dominanti. Tra i più frequenti si trovano: *Patella ferruginea*, *Cardita senegalensis*, *Strombus bubonius*, *Nodolittorina punctata*, *Gibbula philberti*, *Bittium latreilli*, *Columbella rustica*, *Dendropoma petreum*, *Patella spp.*, *Cerithium vulgatum*, *Cerithium spp.*, *Bolma rugosa*, *Bolma latreilli* e *Tricolia pullus*. In alcune aree vicino ad Alghero sia i clasti che i bioclasti sono incrostati da alghe rosse (*Lythophilum spp.*) e *Vermetidi*. I fossili presenti sono indicativi di una fauna calda ad affinità senegalese attualmente vivente nelle zone intertidali delle coste rocciose.

Tab. 1. Facies riconosciute nell'area di studio

FACIES	DESCRIZIONE	INTERPRETAZIONE	Esempi
S(p)t	Arenarie grossolane, giallastre con grani ben assortiti ed arrotondati caratterizzate da laminazione incrociata sia piana che a festoni	Sabbie eoliche dune costiere	
Sl(b)	Arenarie grossolane, giallastre con grani da poco a ben assortiti massicce e con abbondanti tracce di radici	Sabbie tabulari eoliche	
S(g)l	Arenarie medio- grossolane, giallastre con grani ben assortiti e laminazione piano parallela	Sabbie e ghiaie laminate (sheetflood)	
S(g)m	Arenarie grossolane (con occasionali conglomerati fini), giallastre con grani poco assortiti che riempiono piccole depressioni concave alla cui base si trovano spesso degli orizzonti conglomeratici (pebbles)	Sabbie e ghiaie canalizzate	
Xmw	Livelli siltosi rosso scuro con dispersi clasti angolari poco assortiti	Paleosuolo	
Xmb(c)	Conglomerato a clasti (pebbles-b e cobbles-c) angolari poco assortito con matrice rossa siltosa	Colluvio	
Sx	Arenarie e conglomerati fini (granules) con grani e clasti ben arrotondati ed assortiti il livelli lentiformi con laminazione incrociata a basso angolo. Presenza di fossili sparsi e biturbazione ad opera di radici verso la parte alta.	Spiaggia emersa sabbiosa (sensu Massari & Parea, 1988)	
Gsf	Conglomerato massiccio a clasti (pebbles e cobbles) ben arrotondati e subferici, poco assortito con matrice sabbiosa ricco in fossili e intensamente incrostato da vermetidi ed alghe rosse	Spiaggia emersa sabbiosa-fossilifera	
Gsc	Conglomerato massiccio a clasti (pebbles-boulders) ben arrotondati con matrice sabbiosa e locali fossili	Spiaggia sommersa sabbioso-ghiaiosa (sensu Massari & Parea, 1988)	



L'associazione di facies **Bg** è interpretata come un deposito di spiaggia ghiaiosa dove la facies *Gsf* (sempre al tetto) rappresenta la zona intertidale della spiaggia mentre *Gsc* l'*outer frame* (Bluck, 1967). La sovrapposizione di queste facies è indicativa di una successione progradante del tipo *shallowing upward*. La limitata estensione areale di questi depositi di spiaggia li fa ritenere delle *pocket beach* analoghe a quelle attuali.

#### 4.2 Associazione di facies **Bs**: spiagge sabbiose

L'associazione di facies **Bs** include prevalentemente la facies *Sx* ed in modo minore la facies *Gsf*. Costituisce, di norma, tutta l'unità U3b. La sua base è generalmente erosiva mentre al tetto può fare passaggio graduale all'associazione di facies **E** o essere separata dalla successiva da un paleosuolo (*Xmw*) o da un colluvio (*Xmb(c)*). È organizzata in strati normalmente gradati, ben stratificati, inclinati verso mare (5-15°). Numerosi i fossili sia in frammenti che interi. Tra questi: *Glycymeris glycymeris* e *Conus* cfr. *testudinarius*, *Bolma rugosa*, *Ostrea* sp., *Patella* cfr. *coerulea*, *Cantharus* cfr. *viverratus*, *Patella ulyseponensis*, *Patella aspera*, *Patella cerulea*, *Ostrea* sp., *Arca noae*, *Lima* sp., *Natica* spp. e *Strombus* cfr. *bubonius*. Negli affioramenti di Alghero l'associazione fossilifera è arricchita da *Bittium*, *Cerithium*, *Gibbula*, *Cardita calyculata* e *Leptochiton cajetanus*.

L'associazione **Bs** è interpretata come una spiaggia sabbiosa o sabbioso-ghiaiosa (*granules*). La limitata estensione degli affioramenti fa ritenere queste spiagge delle *pocket beach*.

#### 4.3 Associazione di facies **E**: eolica

L'associazione di facies **E** include le facies *Sl(b)* e *S(p)t*. Si trova discordante sull'associazione **W** (con la quale si alterna verso la parte alta della successione) o concordante con passaggio graduale sia sull'associazione **Bs** che **A**. È caratterizzata da una buona continuità laterale (diversi km) e verticale (30 m) e da strati di dimensioni metriche (massimo 3 m). Gli strati che si trovano sopra quelli dell'associazione **Bs** sono costituiti esclusivamente dalla facies *Sl(b)*, fortemente bioturbati da tracce di radici, a volte con uno sviluppo verticale di circa 1 metro. La forte bioturbazione oblitera quasi completamente le strutture sedimentarie. Occasionalmente sono stati ritrovati ossa di vertebrati (*Praemegaceros cazioti*; Andreucci, 2006; Andreucci et al., 2010a). Gli strati che si trovano sopra quelli dell'associazione **A** sono di spessore variabile dai 2 a 10 m, caratterizzati da una stratificazione ad alto angolo (15-30° di inclinazione) e direzione dell'immersione compresa tra N260° e N10°.



L'associazione **E** è interpretata come relativa a depositi eolici costieri. La facies *Sl(b)* è indicativa di dune fortemente vegetate e stabilizzate al contrario della facies *S(p)t* che indica dune non vegetate. Il campo dunale, vista la geometria dei corpi, doveva essere caratterizzato da barcane e cordoni paralleli alla costa. Lo sviluppo di questo campo doveva essere collegato alla locale topografia. Risultato è lo sviluppo di una architettura molto articolata nella quale si riconoscono: dune rampicanti (*climbing dunes*), dune di caduta (*falling dunes*) e, più in generale, dune influenzate dalla presenza di ostacoli (*obstacle-influenced dune*). I venti dominanti provenivano, come gli attuali, da N e NO (Andreucci et al., 2010b).

#### 4.4 Associazione di facies **A**: alluvionale

L'associazione di facies **A** include le facies *S(g)m*, *S(g)l* e *Xmb(c)*. Si trova sempre discordante sopra l'associazione **W** e fa da passaggio stratigrafico all'associazione **E**. È caratterizzata da strati amalgamati di spessore compreso tra 0.3 e 1 m, con stratificazione incrociata sia a piccola che grande scala. *Ripples* e *cut-and-fill* sono le strutture più ricorrenti. In alcune località gli strati sono dei veri canali di alcuni metri di larghezza e di 0.5-2 m di altezza. Nel settore più settentrionale di Porto Palmas l'associazione **A** è costituita essenzialmente da *debris flow* dominati sia da *boulder* (b) che da *cobble-pebble* (c).

L'associazione **A** è interpretata come alluvionale e caratterizzata sia da sistemi fluviali tipo *braided* che di conoide alluvionale.

#### 4.5 Associazione di facies **W**: paleosuoli

L'associazione di facies **W** include le facies *Xmb(c)* e *Xmw*. Costituisce principalmente il limite tra le associazioni **Bs** e **E**. È generalmente poco stratificata e delimitata da contatti erosivi sia alla base che al tetto. Le due facies che la costituiscono si ritrovano difficilmente insieme ed in alcune località nei pressi di Alghero il conglomerato *Xmb(c)* è costituito in modo quasi esclusivo da *Glycymeris glycymeris* e *Cerithium* rimaneggiati dal deposito marino sottostante.

L'associazione **W** è interpretata come un paleosuolo costituito sia da suoli veri e propri che da depositi colluviali maturi. La formazione di questi suoli è legata a variazioni climatiche succedutesi sia tra una fase trasgressiva ed una regressiva che all'interno di una fase regressiva.



## 5. Stratigrafia

*V. Pascucci & S. Andreucci*

La stratigrafia dei depositi quaternari di Alghero e di Porto Palmas (Argentiera) anche se simile, presenta alcune differenze. Pertanto le due località saranno discusse in modo separato (Figs. 2-4). Le successioni affioranti sono state datate tramite metodo OSL (*Optical Stimulated Luminescence*) (Murray & Wintle, 2000). Il metodo prevede la datazione del tempo che un singolo grano di quarzo è stato lontano dalla luce del sole perché sepolto. Se un grano di quarzo viene infatti esposto alla luce solare, si azzerava la sua carica naturale di elettroni (fenomeno di *bleaching*). Nel momento in cui questo grano di quarzo "azzerato" viene sepolto, quindi allontanato dalla luce del sole, comincia a ricaricarsi della carica di elettroni presenti naturalmente in una roccia (radioattività naturale). Misurando la quantità di elettroni di cui si è caricato e dividendola per la carica acquisibile per giorno, si riesce a datare il tempo di seppellimento del grano di quarzo e, quindi, a risalire all'età di deposizione della roccia di cui questo fa parte. Condizioni necessarie all'applicazione di questo metodo sono: 1) la presenza di quarzo nel sedimento originario; 2) che il sedimento sia stato sufficientemente esposto alla luce solare per essere azzerato. I depositi silicoclastici quaternari della Sardegna sono riferiti per lo più a spiagge e dune costiere. Si può quindi ragionevolmente supporre sia che il trasporto eolico e marino abbiano azzerato la carica dei granuli quarzosi, sia che le rocce a cui sono associati abbiano avuto dei tempi di seppellimento abbastanza rapidi. I tempi di analisi di un campione sono abbastanza lunghi (circa sei mesi per 6 campioni); ad oggi sono stati raccolti circa 25 campioni di cui 3 relativi alla zona di S. Giovanni di Sinis. In quest'area dove la successione è tra le meglio conosciute, complete, studiate e datate della Sardegna è stata messa a punto la stratigrafia di base, successivamente applicata alle aree di Alghero e Porto Palmas (Andreucci, 2006; Andreucci et al., 2009, 2010b).

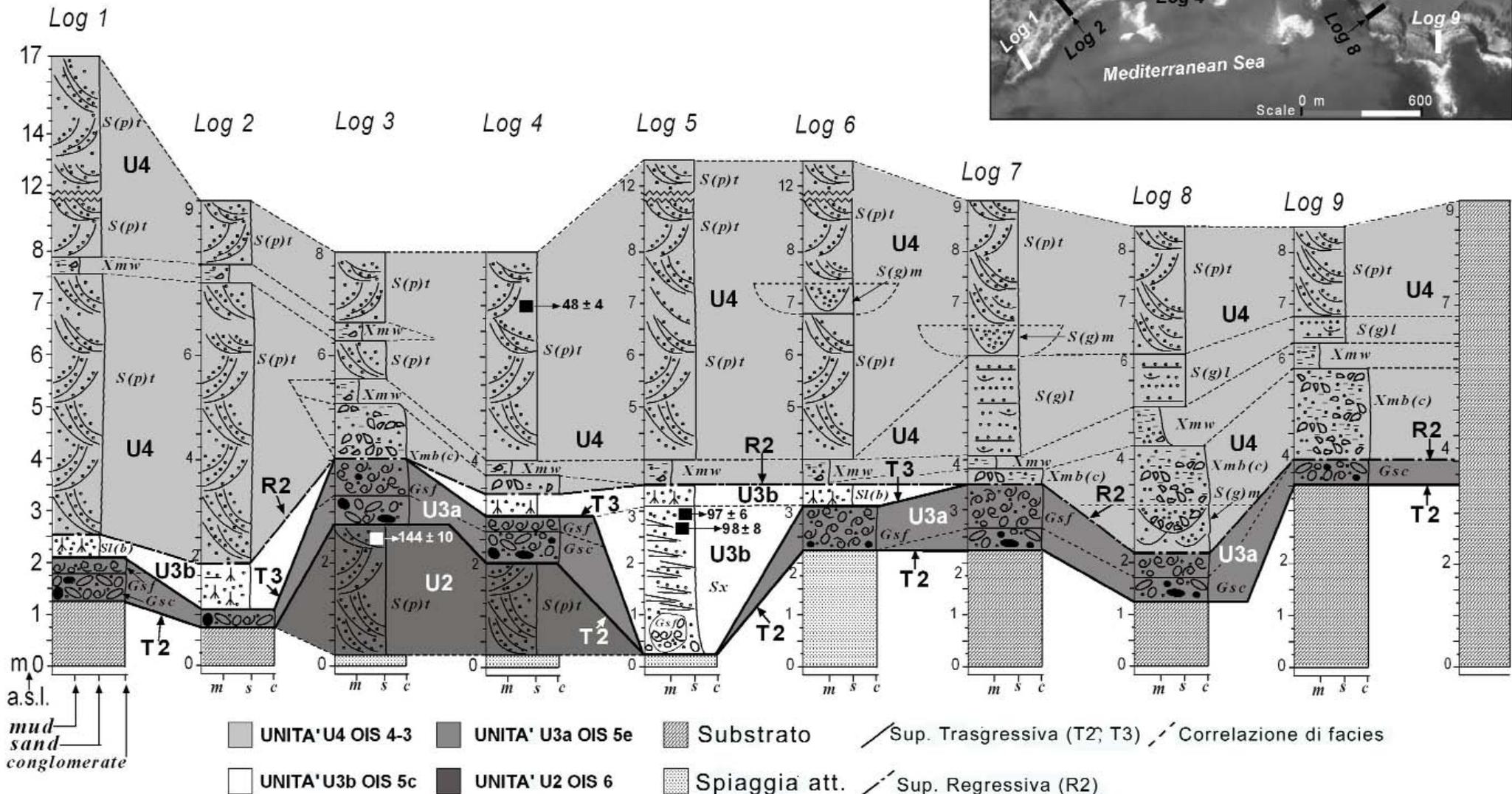
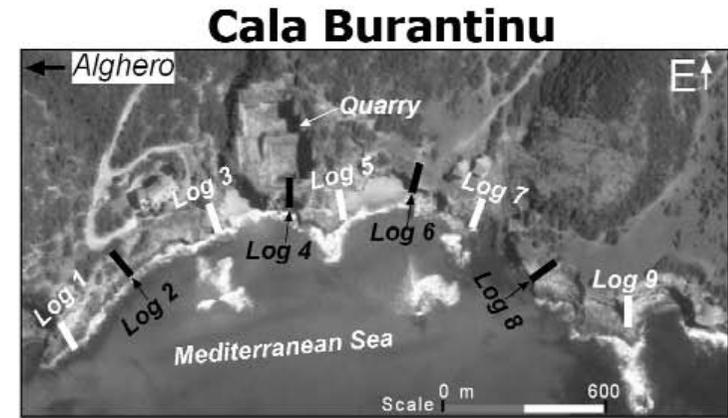
### Alghero

Gli affioramenti di Alghero sono stati differenziati in: 1) Cala Burantino, 2) Costa a sud di Alghero (Fig. 1C).

#### *Cala Burantino.*

Sono state riconosciute le unità deposizionali U2-U4 presenti a S. Giovanni di Sinis. Queste sono caratterizzate da (Fig. 2).

Fig. 2 - Log stratigrafici della zona di Cala Burantinu e loro correlazione. Per la spiegazione delle sigle si veda la Tabella 1 relativa alle facies. T2, T3 = superfici di trasgressione; R2 = superficie di regressione legata alla caduta del mare al passaggio OIS 5 - OIS 4. I quadratini neri con i numeri in grassetto indicano le età OSL.



m0  
a.s.l.  
mud sand  
conglomerate



L'Unità U2 è riferita ad un intervallo di tempo compreso tra 155-135 ky e quindi allo stadio isotopico OIS 6. Le età assolute di un campione preso al tetto della successione sono di  $144 \pm 10$  ky (Andreucci et al., 2010a). È costituita unicamente da depositi dell'associazione di facies **E**, in particolare *S(p)t*. Su questa giacciono in discordanza i depositi dell'unità U3a.

L'unità U3a è costituita dai depositi dell'associazione di facies **Bg**, in particolare le facies *Gsc* e *Gsf*. In questa località la facies *Gsf* è molto ben sviluppata, continua e ricca di bioclasti; i clasti sono generalmente dei *cobbles*. Non è stato possibile datare direttamente questa unità. La sua posizione stratigrafica la colloca all'interno dello stadio isotopico OIS5e (Eemiano=eu-Tirreniano). La base di questa unità affiora ad una altezza variabile da 1.2 a 2.7 m sull'attuale livello del mare. Su questa unità giacciono in discordanza i depositi dell'unità U3b.

L'unità U3b è riferita ad un intervallo di tempo compreso tra 105 e 90 ky e quindi allo stadio isotopico OIS 5c. Le età assolute dei campioni presi al suo interno variano da  $98 \pm 8$  a  $96 \pm 6$  ky (Andreucci et al., 2010a). U3b è costituita dai depositi dell'associazione **Bs** ed in particolare unicamente da quelli della facies *Sx*. Questa facies è così ben preservata da mostrare in modo pressochè completo ed in tre dimensioni la geometria della spiaggia fossile neo-tirreniana, peraltro analoga e confrontabile con quella attuale. Affiora ad un'altezza compresa tra 0 e 3 metri sopra il livello del mare. Su questa unità giacciono con contatto fortemente erosivo i depositi dell'unità U4.

L'unità U4 è attribuita ad un intervallo di tempo compreso tra i 85 ed i 45 ky con un'età assoluta di  $48 \pm 4$  ky che permette di riferirla allo stadio isotopico OIS 4 (Andreucci et al., 2010a). È costituita da depositi dell'associazione di facies **W**, **A** ed **E**, quest'ultima nettamente dominante sulle altre con affioramenti spettacolari (Andreucci et al., 2010b).



### Alghero Sud

Sono state riconosciute le unità deposizionali U3-U4 presenti a S. Giovanni di Sinis. Queste sono caratterizzate da (Fig. 3):

L'unità U3a è poco sviluppata ed è costituita dai depositi dell'associazione di facies **Bg**, in particolare le facies *Gsc* e *Gsf*, quest'ultima più frequente. Non è stato possibile datare direttamente questa unità. La sua posizione stratigrafica la colloca all'interno dello stadio isotopico OIS5e (Eemiano=eu-Tirreniano). Nell'area a S di Alghero questa unità affiora dal livello del mare attuale fino ad una altezza di 4 m sopra questo. L'unità U3b poggia in discordanza sull'unità U3a. Il passaggio tra le due unità è in alcuni casi sottolineato dalla presenza di un paleosuolo rosso (associazione di facies **W**).

L'unità U3b è riferita ad un intervallo di tempo compreso tra 105 e 90 ky e quindi allo stadio isotopico OIS 5c. L'età assoluta dell'unità è di  $95 \pm 7$  ky (Andreucci et al., 2010a). U3b è costituita dai depositi dell'associazione **E** ed in particolare unicamente da quelli della facies *Sl(b)*.

L'unità U4 poggia in netta discordanza su U3b. Questo contatto è nella maggior parte degli affioramenti associato alla presenza di un paleosuolo rosso a luoghi molto maturo. L'unità U4 è riferita ad un intervallo di tempo compreso tra i 85 e 45 ky; le datazioni assolute hanno dato  $80 \pm 5$  e  $73 \pm 5$  ky, permettendo di riferirla allo stadio isotopico OIS 4 (Andreucci et al., 2010a). È costituita da depositi dell'associazione di facies **W**, **A** ed **E**, quest'ultima nettamente dominante sulle altre. L'associazione di facies **W** è presente oltre che alla base anche all'interno dell'unità. L'associazione **A**, se presente, è sempre alla base della successione sopra il paleosuolo rosso. Internamente agli strati di questa associazione sono state rivenute tracce di movimento riconducibili a cervidi.



# Alghero sud

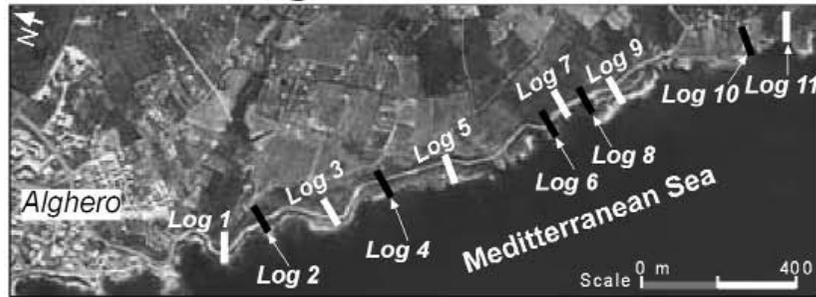


Fig. 3 - Log stratigrafici della zona a sud di Alghero e loro correlazione. Per la spiegazione delle sigle si veda la Tabella 1 relativa alle facies. T2, T3 = superfici di trasgressione; R2 = superficie di regressione legata alla caduta del mare al passaggio OIS 5 - OIS 4. I quadratini neri con i numeri in grassetto indicano le età OSL.

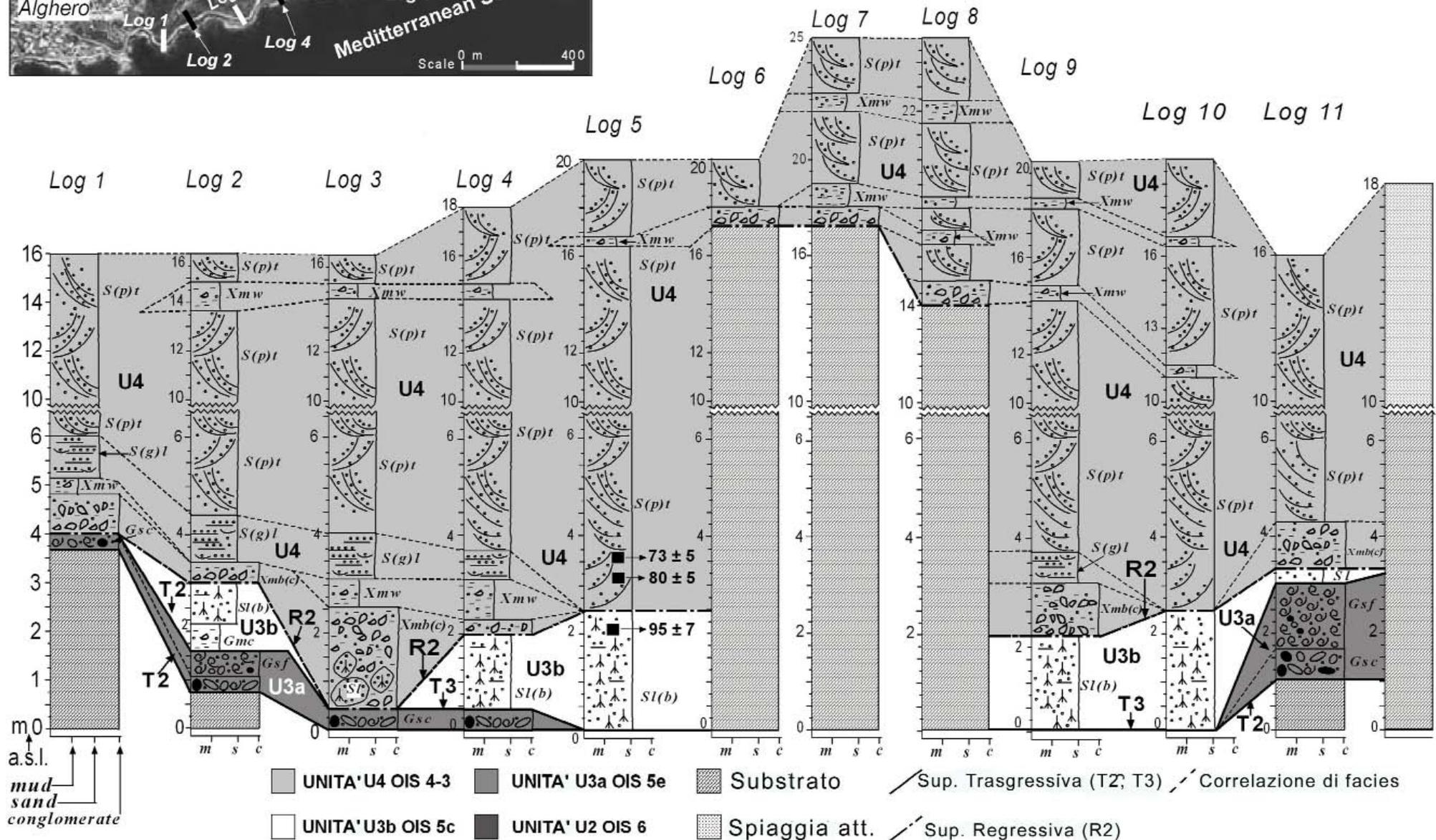
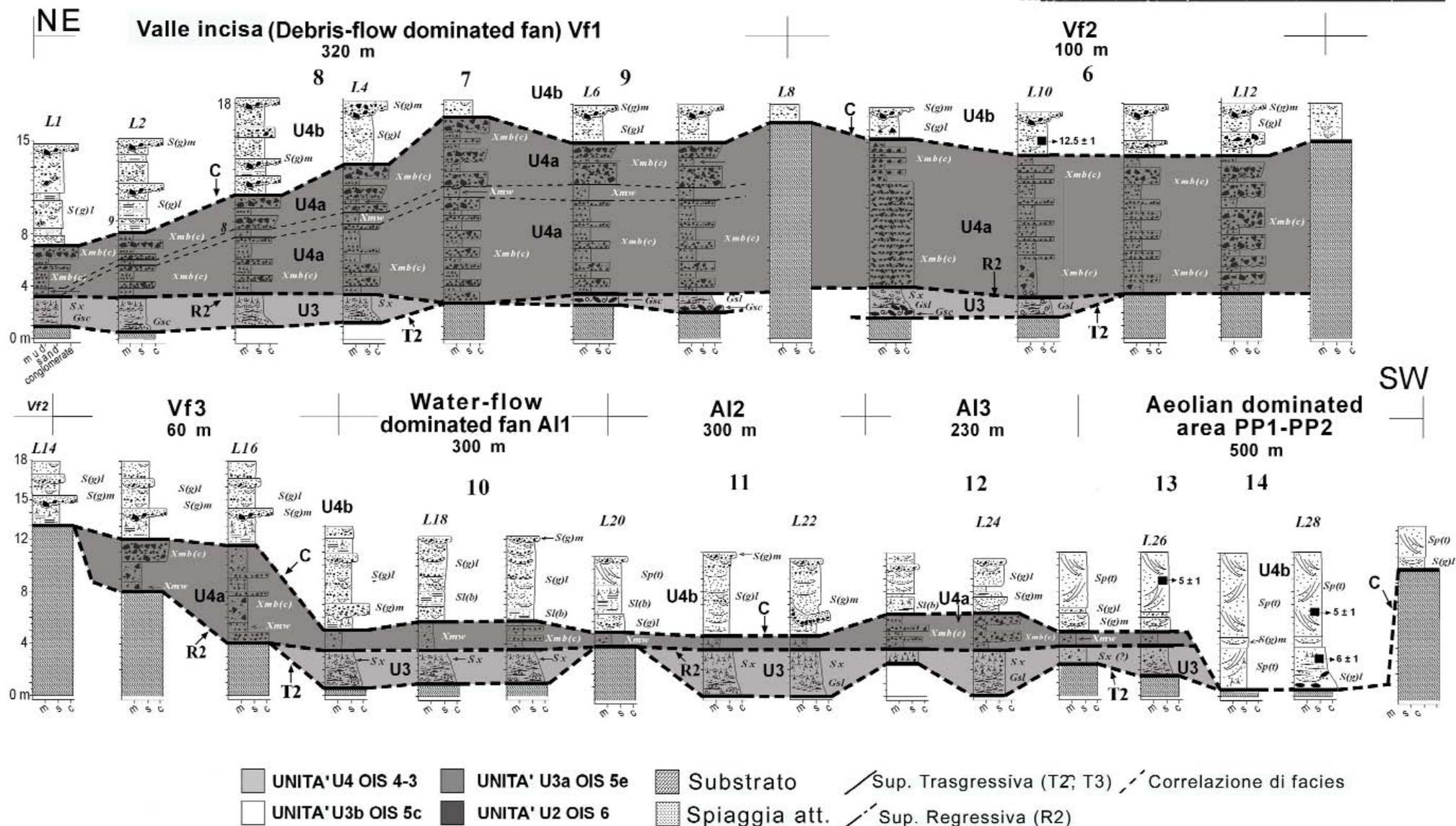




Fig. 4 - Log stratigrafici della zona di Porto Palmas e loro correlazione. Per la spiegazione delle sigle si veda la Tabella 1 relativa alle facies. T2, T3 = superfici di trasgressione; R2 = superficie di regressione legata alla caduta del mare al passaggio OIS 5 - OIS 4. I quadratini neri con i numeri in grassetto indicano le età OSL.

# Argentiera





## Porto Palmas (Argentiera)

I depositi quaternari sono caratterizzati (da NE verso SO) da tre sistemi deposizionali diversi (Fig. 4). Un sistema di riempimento di una valle incisa dominato da *debris flow*, un sistema dominato da conoidi alluvionali (*water flow dominated fan*) ed un sistema dominato da processi eolici (*aeolian dominated area*). Sono state riconosciute le unità deposizionali U3-U4 presenti a S. Giovanni di Sinis che giacciono discordanti sulle filladi siluriane.

L'unità U3 è presente in modo quasi continuo alla base della successione. È costituita dalla associazione di facies **Bs**. Non è stato possibile datare direttamente questa unità che, sulla base della sua posizione stratigrafica ed analogie litologiche con i vicini affioramenti di Alghero, viene riferita ad un generico OIS5.

L'unità U4 è suddivisibile in due sottunità U4a e U4b.

La sottunità U4a è caratterizzata da depositi riferiti alle facies *Xmc*, *Xmw*, e solo occasionalmente al contatto con l'unità U3, da *Xmc*. Presenta il massimo spessore (10 m) nel settore NE della successione e si riduce quasi a zero in quello SO. Non esistono datazioni dirette di questa unità che per la sua posizione stratigrafica viene riferita agli stadi OIS4-OIS3.

La seconda sottunità U4b poggia in discordanza erosiva sull'unità U4a. È caratterizzata da depositi delle associazioni di facies A ed E. In particolare, nel settore NE sono presenti le facies S(g)m e S(g)l, mentre in quello SO le facies Sl(b) e S(p)t. L'unità U4b è riferita ad un intervallo di tempo compreso tra i 13 ed i 5 ky; le datazioni assolute hanno dato valori compresi tra  $12.5 \pm 1$  e  $5 \pm 1$  ky, permettendo di riferirla agli stadi isotopici OIS2 (parte terminale) e OIS1.

## 6. Le tracce di movimento (*trackways*)

**F. Fanelli & A. Ibba**

Tracce e piste fossili attribuite all'icnogenere *Bifidipes* Demathieu, Ginsburg, Guerin & Truc, 1984 sono state individuate nei depositi del Pleistocene di numerose località costiere della Sardegna. I loro caratteri morfologici permettono di ipotizzare che l'autore sia stato l'unico artiodattilo presente in Sardegna nel Pleistocene medio superiore, ovvero la specie endemica estinta *Praemegaceros cazioti* (Depéret, 1897) (Fanelli et al., 2007).

I giacimenti che hanno fornito resti ossei appartenenti a questo cervide sono rappresentati principalmente da depositi carsici; fra i più noti spiccano Monte Tuttavista (Orosei), Grotta Dragunara (Alghero) e Grotta Corbeddu (Oliena). Alcuni resti isolati sono stati trovati in depositi eolici e fluviali (Fanelli, 2003; Palombo, 2005).



Sono stati descritti diversi morfotipi di *Bifidipes* in depositi eolici e lagunari e in ambienti di *foreshore*, *backshore* e *washover fan*. Le analisi sugli icnofossili finora scoperti hanno permesso di precisare sia la morfologia che la loro distribuzione spaziale in funzione della natura del substrato e dell'andatura degli animali (Fanelli et al., 2007). Nei depositi eolici e alluvionali del Pleistocene superiore di Cala Bona, Il Cantaro e Punta del Lavatoio (Alghero) sono presenti centinaia di tracce esposte in superficie di strato e in sezione verticale. Le tracce individuate in superficie di strato possono presentarsi più o meno erose oppure completamente riempite da sedimento. Nel primo caso è possibile osservare la deformazione prodotta fino ad alcuni centimetri al disotto dell'originale superficie di calpestio (*undertrack sensu* Allen, 1997), mentre nel secondo caso le tracce sono evidenziate da crepe che bordano il riempimento (*ghost track, sensu* Allen, 1997) (Figs. 5 e 6).

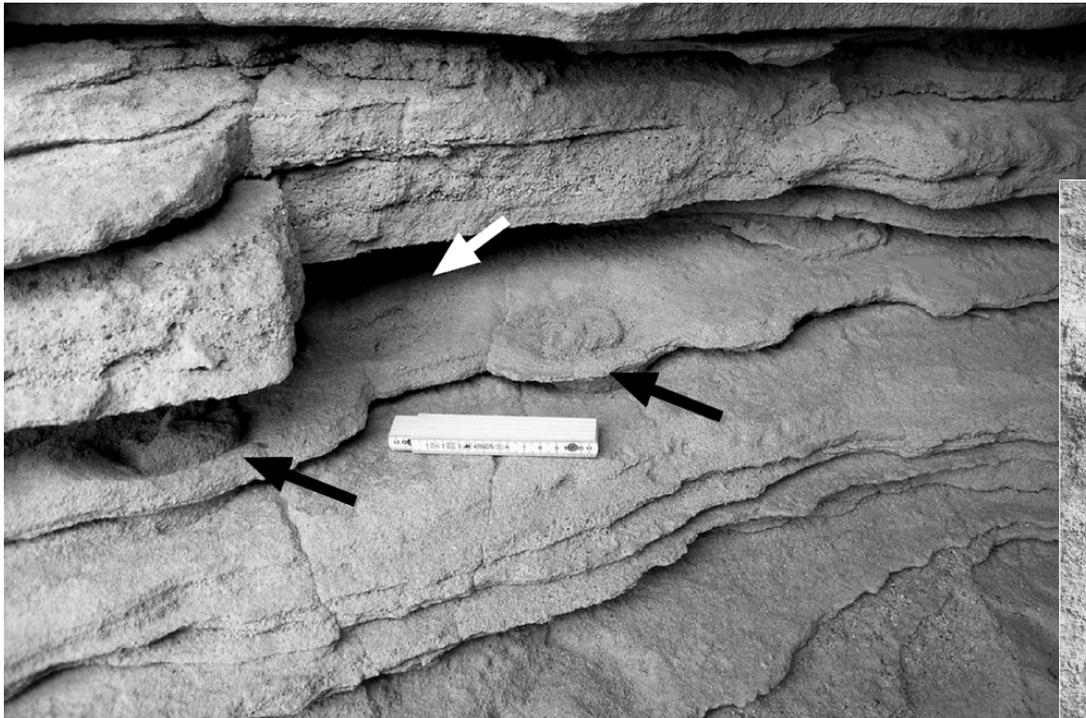


Fig. 5 - Piste in superficie di strato, le tracce sono riempite da sabbie grossolane (Il Cantaro, Alghero).



Fig. 6 - Superfici di calpestio, le tracce sono parzialmente erose e riempite da sabbie grossolane (Stop 1.2, Alghero).



Sulle superfici di strato (da sub-orizzontali a fortemente inclinate) è stato possibile riconoscere due morfotipi principali. Il primo è rappresentato dalle piste, costituite da tre o più impronte consecutive appartenenti allo stesso individuo, che possono essere seguite per diversi metri (Fig. 5). I parametri ricavati dalle piste (lunghezza e angolo del passo) forniscono importanti indicazioni sulla direzione, andatura e velocità dell'animale durante i suoi spostamenti (Fanelli, 2008). Il secondo morfotipo è rappresentato dalle superfici di calpestio; si tratta di gruppi di numerose tracce che si sovrappongono tra loro in modo caotico e solitamente sono originate dal passaggio di più individui (Fig. 6). Le tracce inoltre possono essere distinte in tracce semplici, nelle quali le impronte di *pes* e *manus* sono separate e non si sovrappongono tra loro (s'intende con *manus* l'impronta dell'arto anteriore e con *pes* quella dell'arto posteriore) e tracce composte, dove le impronte di *pes* e *manus* sono completamente o parzialmente sovrapposte (Fanelli et al., 2007; Fornós et al., 2002).

In sezione verticale le tracce sono individuabili grazie alla deformazione delle lamine prodotta dalla pressione esercitata dall'arto dell'animale. Si tratta di deformazioni concave, riempite da sedimento non laminato, di profondità variabile (10-20 cm). In sezione è possibile riconoscere sia delle piste (tracce semplici o composte) che delle tracce isolate (Figs. 7 e 8). In alcuni casi il numero di tracce è talmente elevato da rendere impossibile il riconoscimento della stratificazione (effetto della sovrapposizione di più superfici di calpestio).

La preservazione delle tracce è influenzata da diversi fattori, quali il peso e l'andatura dell'animale, l'azione degli agenti esterni e la natura del sedimento. Le impronte prodotte da animali pesanti raggiungono facilmente gli strati più profondi e hanno pertanto maggiori possibilità di fossilizzarsi. L'azione degli agenti esterni (onde, maree e venti) può rielaborare il sedimento, influire sul tempo di seppellimento e sulla presenza di una copertura vegetale (Sarjeant, 1975).

La percentuale d'acqua presente nel sedimento è uno dei fattori più importanti. I test di laboratorio, eseguiti per determinare le condizioni d'umidità dei substrati sabbiosi, evidenziano che la percentuale d'acqua ideale per ottenere tracce di forme ben definite sia di circa 14% (Fanelli, 2008). Secondo Frey e Pemberton (1986) le condizioni ideali sono presenti in substrati umidi stabili e poco inclinati, con granulometria medio-fine.



Fig. 7 - Piste in sezione verticale (cave del Cantaro, Alghero).

Questi artiodattili attraversavano areali caratterizzati da dune, spiagge e lagune particolarmente favorevoli alla preservazione delle tracce, probabilmente attratti come i cervidi attuali, dalle croste di sale.

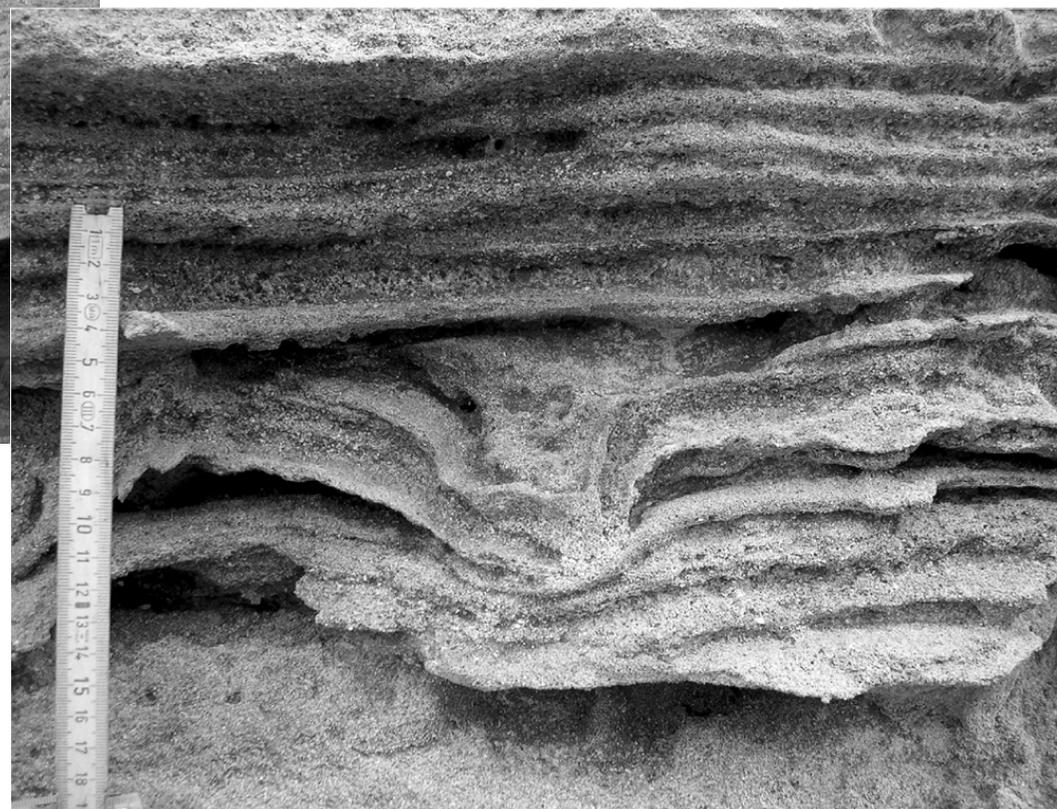


Fig. 8 - Traccia semplice in sezione verticale; è chiaramente visibile la deformazione della laminazione dovute al carico (Cave del Cantaro, Alghero).



## 7. I paleosuoli sepolti alla base della sequenza eolica würmiana

*C. Zucca & S. Madrau*

Molto spesso dei paleosuoli separano le unità U3 e U4 sono in diretto contatto con il substrato pre-Quaternario. I paleosuoli sono costituiti da lenti di varia dimensione, profondità ed estensione laterale. Il loro materiale parentale consiste generalmente in insediamenti alluvionali sovrapposti alle sottostanti successioni litologiche.

È di norma eterogeneo, con facies alluvionali sabbiose o limose alternate a lenti colluviali più grossolane che riflettono la topografia antica ed i relativi processi geomorfologici. Spesso sono presenti nel profilo ciottoli e blocchi aventi analoga litologia del substrato geologico circostante.



In alcuni punti si rinvencono anche frammenti di sabbie cementate. Nell'area sono attualmente in fase di studio diversi tipi di profilo. I più rappresentativi tra questi sono mostrati nelle figure 9-11.

Fig. 9 - Il più semplice profilo pedologico osservato, prodotto da un singolo ciclo di rubefazione.



Fig. 10 - Profilo del secondo suolo rappresentativo dell'area. È composto da un orizzonte rubefatto a cui si sovrappone un orizzonte impoverito grigiastro nel quale si rinvengono screziature giallastre lineari.

Queste ultime sono state analizzate in dettaglio allo scopo di interpretare la genesi dei paleosuoli e ottenere informazioni in relazione alle condizioni climatiche ed ambientali precedenti la fase di deposizione dei sedimenti eolici che li hanno ricoperti.

Caratteristica comuni a tutti profili è la rubefazione, chiaramente sviluppata anche nelle lenti colluviali molto grossolane. Tuttavia, tutti presentano alcune caratteristiche specifiche come, la presenza e posizione di un orizzonte impoverito di colore grigiastro, di screziature lineari giallastre e di un sottile strato ferruginoso.



Fig. 11 - Il terzo suolo rappresentativo è caratterizzato da due orizzonti rubefatti che includono un orizzonte impoverito grigiastro con screziature giallastre lineari e con il limite inferiore caratterizzato da un pan ferruginoso.



## DESCRIZIONE DEGLI STOP

### PRIMO GIORNO

#### Alghero - Cala Burantino

#### Stop 1.1: Stratigrafia dei depositi quaternari di Alghero

*Con una imbarcazione si raggiunge Cala Burantino (o Buratinu o Bullantinu) situata a circa 5 miglia a sud di Alghero. La cala è composta da due piccole spiagge separate da un promontorio roccioso. Si ancora in prossimità della spiaggia di destra.*

Cala Burantino è la sezione tipo dei depositi tardo quaternari di Alghero. Vi affiorano le unità U2, U3a, U3b, U4 (Fig. 13).

L'unità U2 affiora alla base della successione sedimentaria della spiaggia di sinistra (Fig. 13A, B). È caratterizzata da depositi dell'associazione **E** (facies *S(p)t*), la cui età assoluta è di  $144 \pm 10$  ky (OIS 6), sui quali poggiano in discordanza i depositi dell'associazione **Bg**, riferiti allo stadio isotopico OIS5e. Questi sono a loro volta sormontati in discordanza dai depositi dell'unità U4, riferita allo stadio isotopico OIS 4.

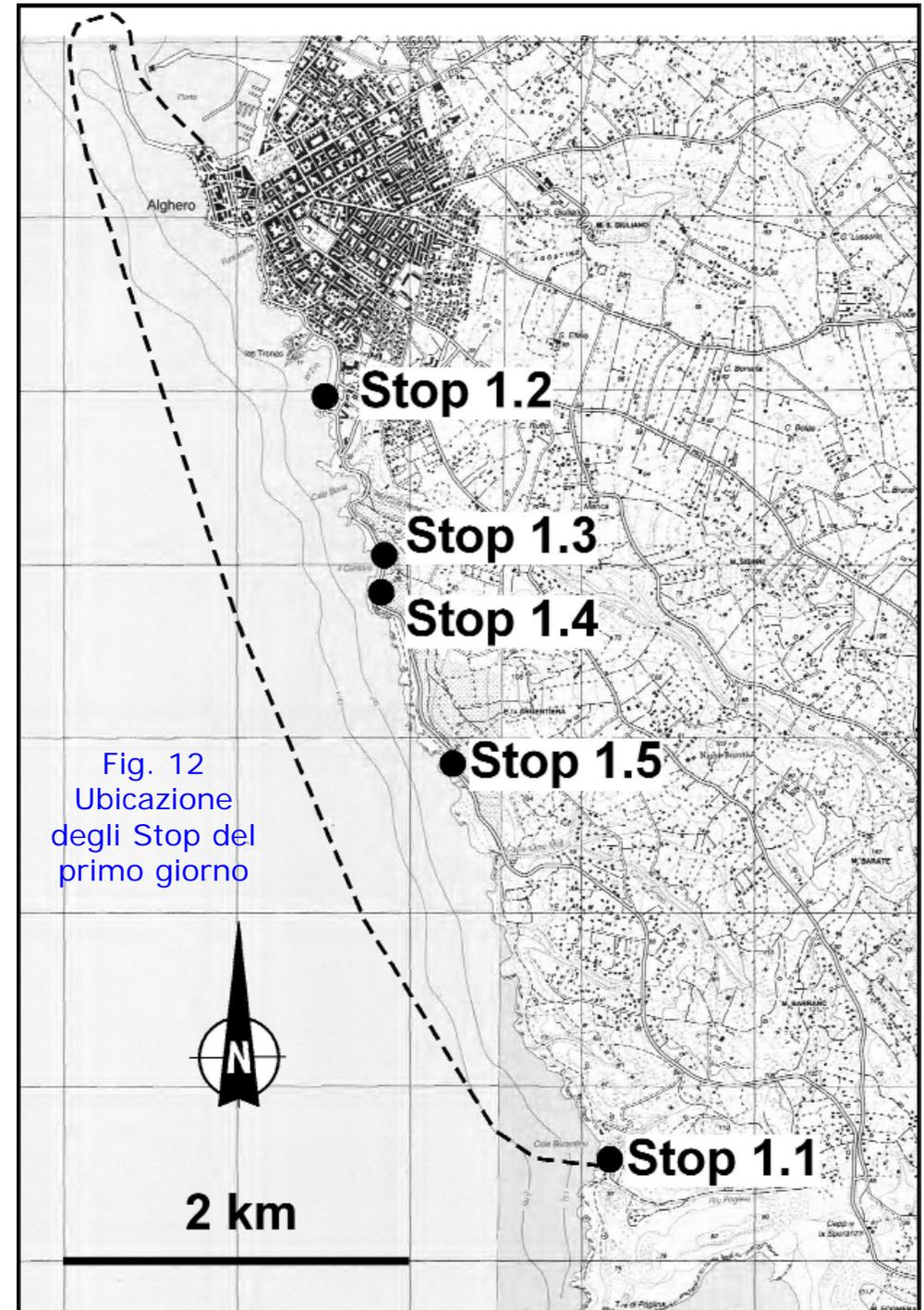


Fig. 12  
Ubicazione  
degli Stop del  
primo giorno

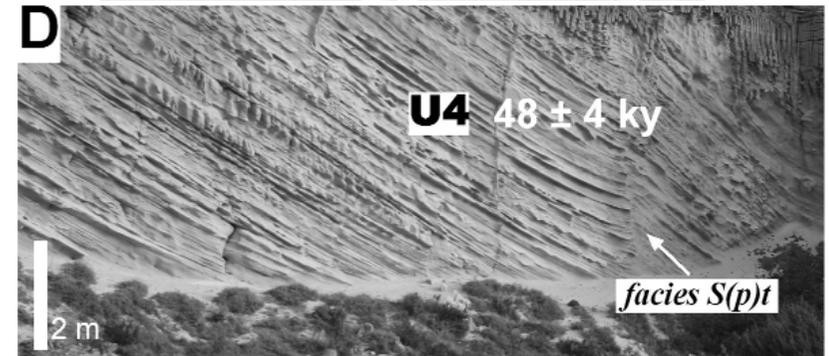
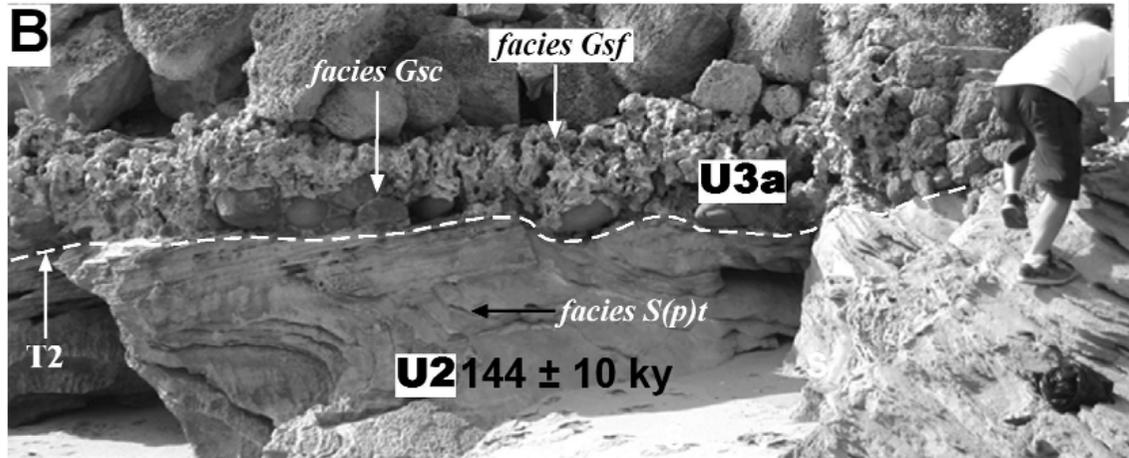
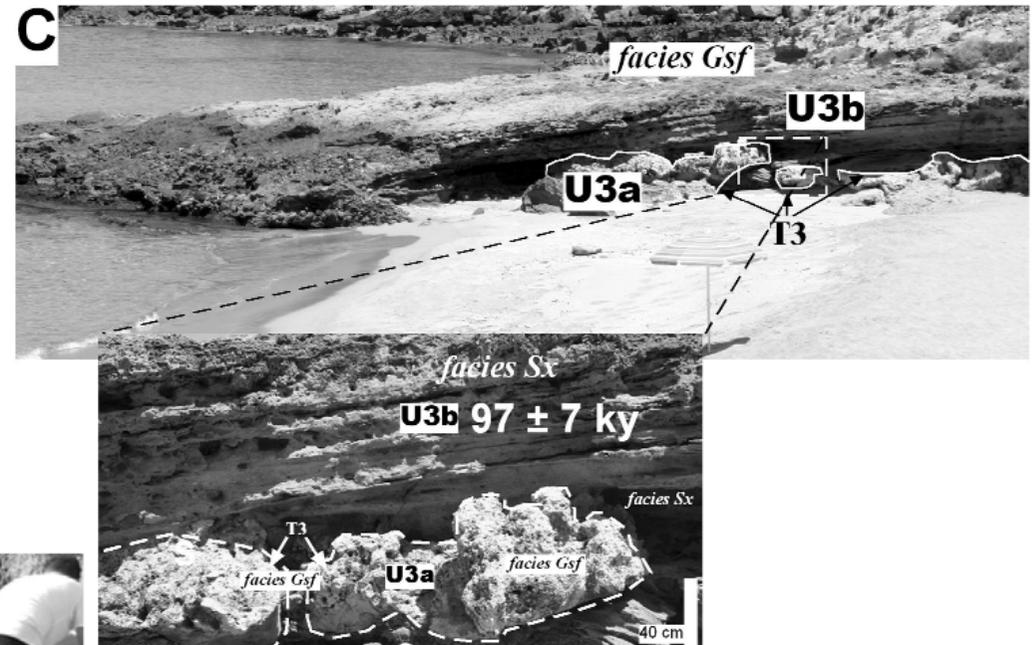


Fig. 13 - Affioramenti di Cala Burantino. A. Veduta aerea delle due spiagge e delle cave; B. Affioramenti delle unità U2 e U3 nella spiaggia di sinistra; C. Spiaggia tirreniana (unità U3b) con dettaglio; D. Foresets dei depositi eolici dell'unità U4. I numeri si riferiscono alle età OSL.



La successione della spiaggia di destra (Fig. 13A, C) è caratterizzata dai depositi della sottounità U3a (associazione **Bg**, facies *Gsf* e *Gsc*) su cui poggiano in discordanza i depositi della sottounità U3b (associazione **Bs**, facies *Sx*), la cui età assoluta è compresa tra i  $98 \pm 8$  e  $96 \pm 6$  (OIS 5c). Questi sono sormontati in discordanza dai depositi dell'unità U4, caratterizzati dalle associazioni **A** (facies *Xmb(c)*, *S(g)m* e *S(g)l*) e **E** (facies *S(p)t*). In alcune zone U3 e U4 sono separate da un suolo rossastro. Campioni prelevati a circa 5 m dalla base dell'unità U4 (internamente alla cava di arenarie adiacente alla spiaggia, Fig. 13D) hanno dato una età assoluta di  $48 \pm 4$ ky (OIS 4). Focus dello Stop: oltre che la visione completa della successione stratigrafica, sono visibili gli spettacolari affioramenti di arenarie eoliche dell'unità U4 e la spiaggia fossile della sottounità U3b. Le dune sono tagliate sia frontalmente che lateralmente permettendo di vedere in tre dimensioni le loro strutture interne (*foreset* ad alto angolo, *grain flow*, *ripples*).

La spiaggia ha quasi completamente preservato la sua struttura nella quale sono osservabili varie parti della *beachface*.

*Dal porto di Alghero si seguono le indicazioni per il centro e si raggiunge Piazza Sulis da dove si prosegue per circa 500 m sul Lungomare Dante. Il secondo Stop è situato lungo la costa in località Punta del Lavatoio, nei pressi dell'Hotel Carlos V.*

### Stop 1.2: Punta del Lavatoio (Alghero). Depositi tirreniani (OIS5) e depositi würmiani (OIS4)

I depositi quaternari giacciono in discordanza sui depositi carbonatici triassici. La successione quaternaria è caratterizzata dalla presenza delle unità U3 e U4 (Fig. 14).

L'unità U3 affiora in piccoli affioramenti isolati. È costituita da ghiaie ricche in bioclasti (*Gsf*) che poggiano direttamente sul substrato ed affiorano ad una altezza di circa 4 metri sull'attuale livello del mare. Le ghiaie rappresentano la spiaggia tirreniana; la presenza di numerosi macrofossili ad affinità senegalese conferma questa interpretazione.

L'unità U4 giace in discordanza erosiva sopra U3. La parte basale dell'unità è caratterizzata dall'associazione **W** con la facies *Xmb(c)*, su cui poggia con un contatto netto l'associazione **A** con la facies *S(g)m*. Verso l'alto si osserva il passaggio graduale all'associazione **E** con la facies *S(p)t*.

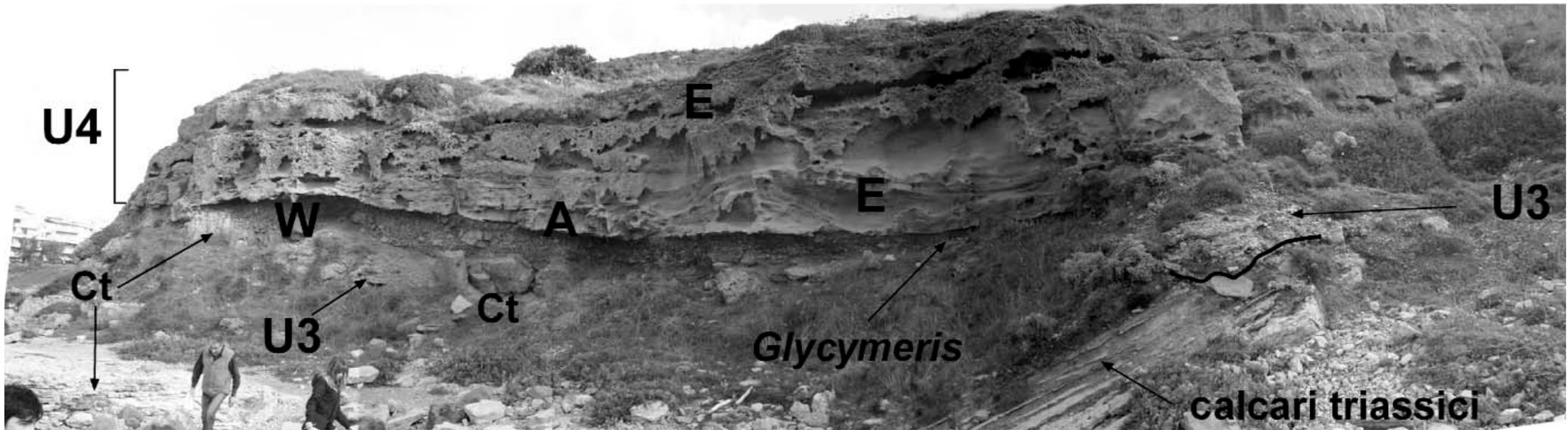


Fig. 14 - Affioramenti di Punta del Lavatoio (o scogli piatti). A, E, W = associazioni di facies; Ct = calcari triassici.

L'associazione **W** è interpretata come un colluvio maturo. I clasti basali sono costituiti unicamente da macrofossili del genere *Glycymeris*, i sommitali da calcari subangolari (*pebbles* e *cobbles*). La matrice del colluvio è composta da una sabbia fine rossastra, occasionalmente siltosa. L'associazione **A** rappresenta un deposito fluviale tipo *braided*. L'alternanza canali-depositi eolici fa interpretare il sistema come un *braided* interdunale. La superficie di discordanza che separa U3 da U4 è associata alla caduta del livello del mare (*falling stage-FST*) cominciata con l'inizio dello stadio isotopico OIS4. Le condizioni climatiche calde (subtropicali), che avevano caratterizzato lo stadio isotopico OIS5, cambiano verso un generale periodo freddo. La transizione caldo-freddo è sottolineata dalla presenza di un colluvio maturo rosso, probabilmente indicativo di alta piovosità. L'instaurarsi di sistemi dunali costieri stabili indica che il clima era diventato freddo e secco.

Focus dello Stop: i depositi colluviali a *Glycymeris* che separano l'unità U3 dalla U4.

*Si prosegue in direzione Bosa lungo la SP105. Dopo circa 1 km si parcheggia in una delle piazzole presenti lungo la strada, poco prima delle sorgenti del Cantaro (segnalate). Si prende uno dei numerosi sentieri che scendono verso il mare e si raggiunge l'affioramento.*



## Stop 1.3: Paleosuolo al passaggio OIS5-OIS4

*Focus dello Stop:* l'osservazione di un paleosuolo al passaggio tra le unità U3b e U4 (Fig. 15). Di seguito la descrizione degli orizzonti riconosciuti dall'alto verso il basso.

Orizzonte 1 [1]: 0 - 8 cm sabbie eoliche. Colore 10YR8/3 (secco) castano chiaro. Struttura massiva, da resistente a molto resistente. Effervescenza evidente. Radici e attività biologica assenti. Limite abrupto e lineare.

Orizzonte 2: 8 - 14 cm, colore 5YR4/6 (intermedio tra umido e asciutto) rosso giallastro. Struttura da poliedrica angolare a massiva, resistente. Non adesivo né plastico. Noduli di carbonati secondari da comuni a molti, medi, irregolari, duri. Pori, radici e attività biologica assenti. Limite abrupto e lineare.

Orizzonte 3: 14 - 22 cm, colore 5YR4/6 (intermedio tra umido e asciutto) rosso giallastro. Struttura poliedrica angolare, resistente. Non adesivo né plastico. Abbondanti depositi di argille illuviali sulle facce degli aggregati e nei pori. Sottile pan ferrico laminare, moderatamente cementato alla base dell'orizzonte. Pori assenti. Limite abrupto e lineare.

Orizzonte 4: 22 - 40 cm, colore 10YR5/4 (umido) rosso giallastro. Struttura poliedrica angolare, resistente. Non adesivo né plastico. Molte screziature distinte, colore 10YR5/8 (umido) bruno giallastre, sottili, lineari. Pori assenti. Limite abrupto e lineare.

Orizzonte 5: 40 - 41 cm, colore 2,5YR3/3 (umido) intermedio tra il rosso bruno grigiastro scuro e il bruno rossastro scuro. Sottile, continuo pan ferrico dalla struttura laminare, cementato, molto resistente anche da umido. Limite da abrupto a diffuso.

Orizzonte 6: 41 - 156 cm, colore 5YR4/6 (umido) rosso giallastro. Struttura poliedrica angolare, grossolana, resistente. Pochi noduli e pellicole di ossidi di ferro molto piccole e irregolari nella parte alta. Pochi noduli di carbonato, minuti, duri e soffici, irregolari e pochi noduli di sabbie fini, da minuti a medi, irregolari. Alla base dell'orizzonte sono presenti frammenti di tutte le dimensioni, subangolari e alterati della spiaggia tirreniana.

Orizzonte 7: 156 - 170 cm e oltre, spiaggia tirreniana.

*Si prosegue a piedi seguendo l'affioramento in direzione sud. Dopo circa 100 m si raggiungono le cave del Cantaro. Le cave sono state sfruttate dal XIV secolo per l'estrazione dei blocchi di arenaria con cui è stata costruita la città di Alghero.*

[1] La nomenclatura degli orizzonti pedologici prevede nelle descrizioni l'attribuzione di una sigla alfanumerica e ad uno degli *orizzonti diagnostici* previsti dai sistemi tassonomici utilizzati, normalmente la Soil Taxonomy dell'USDA e il World Reference Base for Soil Resources (WRB) della FAO-IUSS. Data la complessità di questo profilo, essendo ancora in corso le analisi di laboratorio si è ritenuto opportuno, in questa prima descrizione, individuare gli orizzonti con un numero indicante la loro successione tra le arenarie sovrastanti e la spiaggia tirreniana di base.



## Stop 1.4: Depositi eolici tirreniani e würmiani

in collaborazione con: *F. Fanelli & A. Ibba*

Nelle cave sono presenti depositi eolici (principalmente associazione **E**) riferiti alle unità U3 e U4, separati da una netta discordanza angolare (R2, Fig. 15). Le arenarie *Sl(b)* dell'unità U3 sono intensamente bioturbate (tracce di radici) e prive di strutture sedimentarie. Le arenarie dell'unità U4 presentano nella porzione inferiore una stratificazione incrociata a piccola scala (facies *S(g)l*) con evidenti tracce di movimento di cervidi. Nella porzione superiore la stratificazione è piano parallela inclinata a grande scala. Le età assolute hanno permesso di riferire i depositi eolici dell'unità U3 alla sub-unità U3b dello stadio isotopico OIS 5c ( $94 \pm 7$  ky). I depositi eolici dell'unità U4 sono riferiti allo stadio OIS 4 ( $80 \pm 5$  e  $73 \pm 5$ ). In questo contesto cronostratigrafico U3 rappresenta la progradazione di un sistema eolico costiero in condizioni di *high stand* (HST) con condizioni climatiche probabilmente più fredde di 3-4 °C dell'attuale ma abbondanti precipitazioni atmosferiche, come documentato dall'intensa bioturbazione. L'unità U4, invece, si sviluppa durante le fasi iniziali di uno stadio glaciale (caduta del livello del mare), dove iniziali condizioni climatiche fredde e relativamente umide, che favorivano la preservazione delle tracce dei cervidi, vengono sostituite da condizioni fredde (circa 8 °C in meno rispetto all'attuale) e secche. In queste condizioni climatiche si svilupparono lungo la costa vasti campi di dune eoliche costiere.

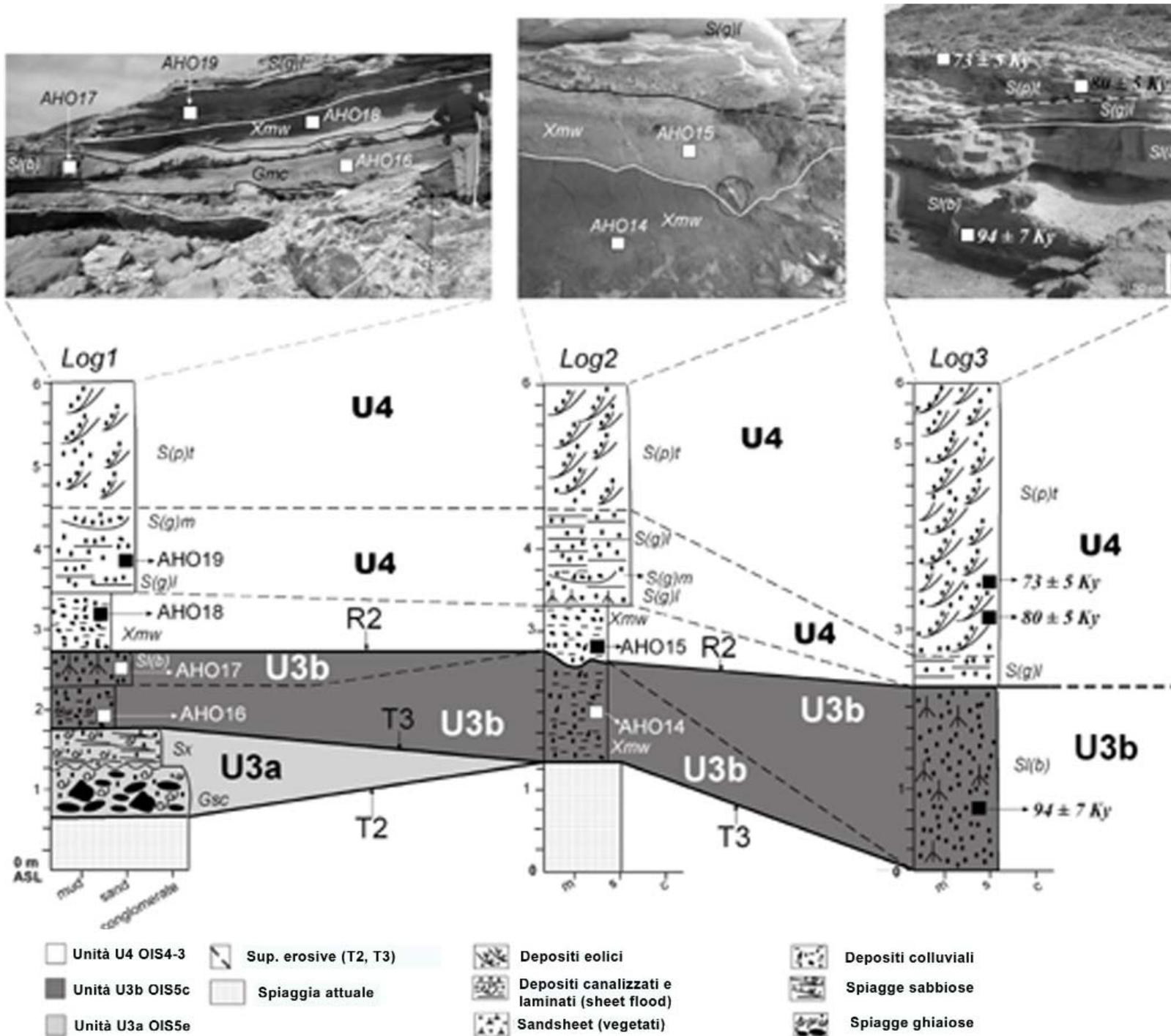


Fig. 15 - Stratigrafia di dettaglio del passaggio tra le unità U3 e U4. Per la spiegazione delle sigle si rimanda alla tabella delle facies ed al testo. AHO sono i campioni per datazioni OSL. Log 3 è riferito allo Stop 1.4.



## Stop 1.5 (opzionale): Depositi eolici würmiani

in collaborazione con: *F. Fanelli & A. Ibba*

La particolare coltivazione delle cave (Cave di Zio Peppino) permette di entrare tridimensionalmente all'interno di un sistema eolico di dune paraboliche, appartenente all'unità U4 (Fig. 16). In particolare nella parte



Fig. 16 - Dettaglio del sistema dunare frontale presente all'interno delle Cave di Zio Peppino. Le cave sono state coltivate fino alle fine del 1800. È possibile vedere il vecchio ormeggio delle barche che trasportavano i conchi di arenaria verso Alghero. L'ormeggio fu sfruttato anche agli inizi del 1900 dalle miniere di rame presenti nell'immediato entroterra (Miniera di Cala Bona). Tramite una galleria (visibile nella foto) il minerale veniva trasportato verso mare.



destra dell'affioramento (Fig. 16) si può osservare il dettaglio di un sistema dunare frontale. Il sistema era costituito da due unità separate da una superficie erosiva (evidenziata nella figura 16 dalla differente stratificazione tra il sistema inferiore - meno stratificato - e quello superiore ben stratificato). Le arenarie che costituiscono questo sistema dunare sono composte per circa il 76% del peso totale da bioclasti di origine marina e per la restante percentuale da quarzo e feldspato. Ben evidente è la stratificazione incrociata ad alto angolo in strati di spessore metrico. L'analisi delle paleo correnti (*cross-beds*) è unimodale con *foreset* immergenti verso sud e sud-ovest ed una inclinazione media di 27°. Il sistema dunare era orientato circa parallelamente alla costa attuale e migrava verso sud. Le arenarie di questo affioramento hanno una età OSL di  $74 \pm 5$  ky (Andreucci et al., 2010b).

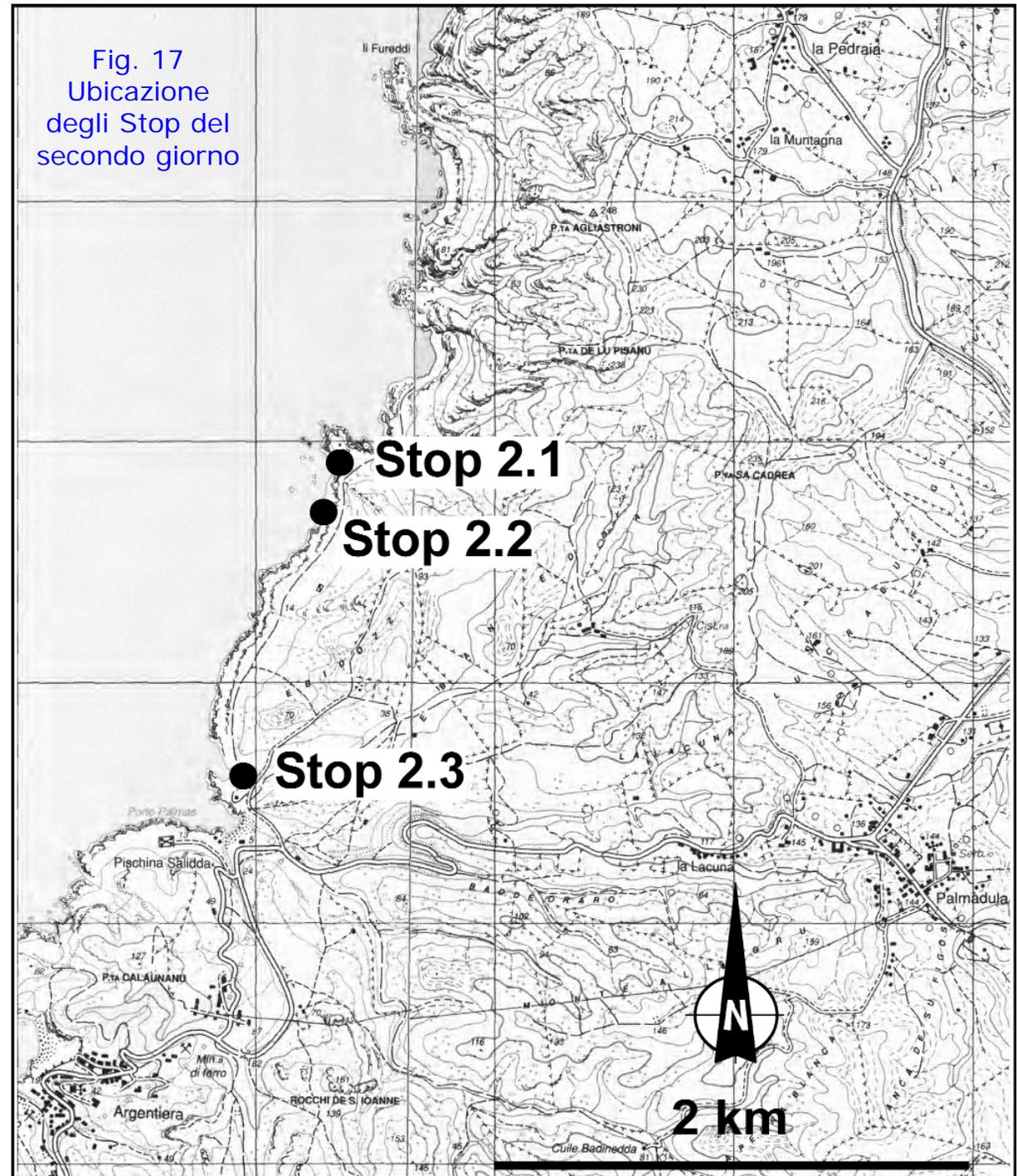


**SECONDO GIORNO**  
*Argentiera - Capo Mannu*

**Stop 2.1: Riempimento di una valle incisa**

Il panorama mostra una valle di circa 100 m di larghezza e 18 m di altezza che taglia sia depositi del substrato (fil-ladi siluriane) che i depositi ghiaioso-sabbiosi riferiti all'unità U3 (Tirreniano). I depositi arenacei che chiudono la valle hanno una età assoluta di  $12.5 \pm 1$  ky (passaggio OIS 2/1).

Fig. 17  
Ubicazione  
degli Stop del  
secondo giorno





La valle riportata in figura 18 (Vf2) si sviluppa in corrispondenza di un corso d'acqua effimero confermando l'ipotesi della similitudine tra la morfologia attuale e quella tardo quaternaria. Il suo riempimento è costituito quasi esclusivamente da depositi delle facies *Xmb(c)* e *Xmw*.

La formazione della valli (Vf1, Vf2, Vf3; Fig. 4) è verosimilmente collegata alla caduta del livello del mare conseguente all'inizio dello stadio glaciale OIS 4. Il suo riempimento si ipotizza avvenuto in un intervallo di tempo compreso tra 80 e 12 ky.



Fig. 18 - Riempimento della valle incisa Vf2. C=superficie che separa U4a da U4b; R2=superficie regressiva che separa U3 da U4a; T2=superficie trasgressiva che separa U3 dal substrato. Per le sigle si rimanda alla Tabella 1.



## Stop 2.2: Conoidi alluvionali

Questo Stop mostra come in aree non interessate da corsi d'acqua si siano sviluppati dei conoidi alluvionali, tutt'oggi attivi.

Il riempimento di questa porzione di costa è legato a flussi laminari di acqua (*sheet flood*, facies *S(g)l*) che danno origine a corpi tabulari leggermente concavi (Fig. 19). Questa successione ha uno sviluppo orizzontale di circa 830 m e verticale di circa 8 m ed è costituita da tre sistemi di conoide alluvionale (*alluvial fan*) adiacenti e parzialmente sovrapposti (AI1, AI2, AI3; Fig. 4).

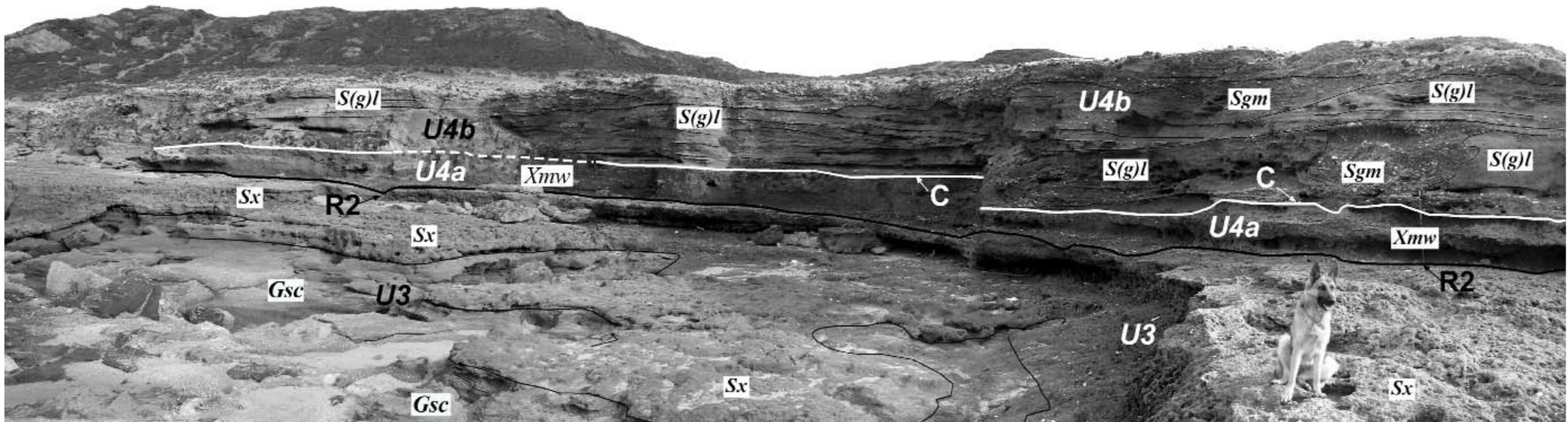


Fig. 19 - Depositi del conoide alluvionale AI1. Per le sigle si rimanda alla Tabella 1. C = superficie che separa U4a da U4b; R2=superficie regressiva che separa U3 da U4a.



### Stop 2.3: Depositi eolici

Nella parte più meridionale della costa di Porto Palmas dominano i depositi eolici. Questi sono caratterizzati da arenarie da mediamente a poco cementate, carbonatiche (90-95% di bioclasti), di origine marina. L'area sorgente di queste arenarie era probabilmente una spiaggia alimentata dai sedimenti provenienti dalla prateria a *Posidonia oceanica* antistante la spiaggia. La facies dominante è la *S(p)t*. I depositi eolici sono caratterizzati da *foresets* ad alto angolo immergenti verso sud (Fig. 20). I venti dominanti dovevano pertanto spirare da nord, analogamente a quanto succede oggi.

Le età assolute hanno dato  $6 \pm 1$  e  $5 \pm 1$  ky che permettono di riferire questi depositi allo stadio isotopico OIS 1 (Olocene).

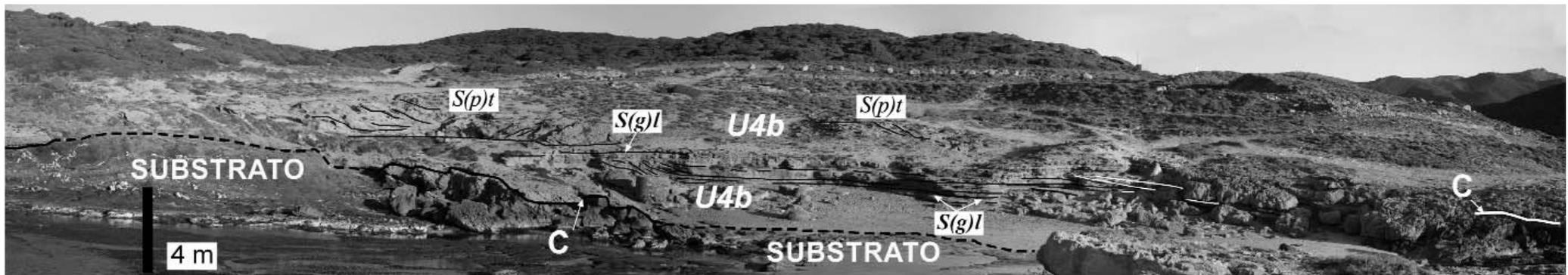


Fig. 20 - Depositi eolici dell'unità U4b. Per le sigle si rimanda alla Tabella 1. C = superficie che separa U4b dal substrato.



## References

- Allen J.R.L. (1997) - Subfossil mammalian tracks (Flandrian) in the Severn Estuary, S.W. Britain: mechanics of formation, preservation and distribution. *Philosophical Transactions of the Royal Society London, B* (352): 481-518.
- Andreucci S. (2006) - Geo-sedimentological study of the Würmian deposits of North Sardinia (Italy). Tesi di dottorato, Università di Sassari (<http://ncl.risoe.dk/publications.htm>)
- Andreucci S., Clemmensen L.B., Murray A.S. & Pascucci V. (2010a) - Middle to late Pleistocene coastal deposits of Alghero, northwest Sardinia (Italy): chronology and evolution. *Quaternary International*, 222, 3-16.
- Andreucci S., Clemmensen L.B. & Pascucci V. (2010b) - Transgressive dune formation along a cliffed coast, NW Sardinia (Italy): a record of Late Pleistocene climate change. In: *Late Pleistocene response to climate change and sea level variation*. *Terra Nova*, 22, 424-433
- Andreucci S., Pascucci V. & Clemmensen L.B. (2006) - Upper Pleistocene coastal deposits of West Sardinia: a record of sea level and climate change. *GeoActa*, 5, 79-96.
- Andreucci S., Pascucci V. & Murray A.S. (2007) - Luminescence dating (OSL) as a method for stratigraphic correlation: the case of San Giovanni di Sinis. *FIST 2007. Forum Italiano delle Scienze della Terra (Rimini)*, 12-14 Settembre 2007. *Epitome*, Vol. 1, 394 pp.
- Andreucci S., Pascucci V., Murray A.S. & Clemmensen L.B. (2009) - Late Pleistocene coastal evolution of San Giovanni di Sinis (West Sardinia, Western Mediterranean). *Sedimentary Geology*, 216, 104-116.
- Antonioli F., Anzidei M., Lambeck K., Auriemma R., Gaddi D., Furlani S., Orrù P.E., Solinas E., Gaspari A., Karinja S., Kovacic V. & Suracel L. (2007) - Sea-level change during the Holocene in Sardinia and in the northeastern Adriatic (central Mediterranean Sea) from archaeological and geomorphological data. *Quaternary Science Reviews*, 26, 2463–2486.
- Belluomini G., Branca M. & Spano G. (1986) - Isoleucine epimerization dating of Quaternary marine deposits in Sardinia, Italy. *Zeitschrift für Geomorphologie. N. F., Suppl. Bd.*, 62, 109-117.
- Belluomini G., Malatesta A., Branca M. & Spano G. (1985) - Amino-acid racemization dating of Sardinian raised marine deposits. *Bollettino Società Geologica Italiana*, 104, 223-228.
- Bluck B.J. (1967) - Sedimentation of beach gravels: examples from South Wales. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37, 128-156.
- Carboni S. & Lecca L. (1985) - Osservazioni sul Pleistocene Medio-superiore della penisola del Sinis (Sardegna occidentale). *Bollettino Società Geologica Italiana*, 104, 459-477.
- Carmignani L., Oggiano G., Barca S., Conti P., Salvadori I., Eltrudis A., Funedda A. & Pasci S. (2001) - Note illustrative della Carta Geologica della Sardegna a scala 1:200.000. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, 60, 283 pp.
- Casula G., Cherchi A., Montadert L., Murru M. & Sarria E. (2001) - The Cenozoic grabens system of Sardinia (Italy): geodynamic evolution from new seismic and field data. *Marine and Petroleum Geology*, 18, 863–888.
- Cherchi A. & Montadert L. (1982) - The Oligo-Miocene rift of Sardinia and the early history of the West Mediterranean Basin. *Nature*, 298, 736–739.

- De Muro S. & Orrù P.E. (1998) - Il contributo delle beach-rock nello studio della risalita del livello del mare olocenico. Le beach-rock post glaciali della Sardegna NE. *Il Quaternario*, 1, 71-93.
- Depéret C. (1897) - Étude de quelques gisements nouveaux de Vertébrés pleistocènes de l'île de Corse. *Annales de la Société Linnéenne Lyon*, 44, 111-128.
- Fanelli F. (2003) - "Praemegaceros" cazioti (Depéret, 1897) (Artiodactyla, Cervidae) di Porto Paglia, Gonnese, SW Sardegna: status e prospettive di ricerca. Tesi di Laurea, Università degli studi di Cagliari, A.A. 2003/2004, 141 pp.
- Fanelli F. (2008) - Depositi costieri pleistocenici del SW della Sardegna e popolamenti a cervidi: Paleoambienti e Paleoicnologia; Università degli Studi di Cagliari, tesi di Dottorato, 130 pp.
- Fanelli F., Palombo M.R., Pillola G.L. & Ibba A. (2007) - Tracks and trackways of "Praemegaceros" cazioti (Depéret, 1897) (Artiodactyla, Cervidae) in Pleistocene coastal deposits from Sardinia (Western Mediterranean, Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 46, 1: 47-54.
- Federici P., Ginesu S. & Oggiano G. (1987) - Evoluzione della Piana costiera Turritana. *Geografia Fisica Dinamiche Quaternarie*, 10, 103-121.
- Ferranti L., Antonioli F., Mauz B., Amorosi A., Dai Pra G., Mastronuzzi G., Monaco C., Orrù P.E., Pappalardo M., Radtke U., Renda P., Romano P., Sansò P. & Verrubbi V. (2006) - Markers of the last interglacial sea-level high stand along the coast of Italy: Tectonic implications. *Quaternary International*, 146, 30-54.
- Fornós J.J., Bromley R.G., Clemmensen L.B. & Rodríguez-Perea A. (2002) - Tracks and trackways of *Myotragus balearicus* Bate (Artiodactyla, Caprinae) in Pleistocene aeolianites from Mallorca (Balearic Islands, western Mediterranean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 180, 277-313.
- Forti S. & Orrù P.E. (1995) - Geomorfologia costiera e sottomarina della penisola del Sinis (Sardegna occidentale). *Bollettino Società Geologica Italiana*, 114, 3-21.
- Frey R.W. & Pemberton S.G. (1986) - Vertebrate Lebensspuren in intertidal and supratidal environments, Holocene barrier islands, Georgia. *Senckenbergiana Maritima*, 18, 45-95.
- Funedda A., Oggiano G. & Pascucci V. (2003) - I depositi Miocenici della Sardegna settentrionale: il bacino del Logudoro. In: (Pascucci V. Ed.), *Atti del Convegno GEOSSED 2003*, Editoria e Stampa, Sassari, Italy, pp. 381-414.
- Hearty P.J. (1986) - An inventory of last interglacial sensu lato age deposits from Mediterranean basin. *Zeitschrift für Geomorphologie. N. F., Suppl. Bd.*, 62, 51-69.
- Kindler P., Davaud E. & Strasser A. (1997) - Tyrrhenian coastal deposits from Sardinia (Italy): a petrographic record of high sea levels and shifting climate belts during the last interglacial (isotopic substage 5 e). *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 133, 1-25.
- Lecca L. & Carboni S. (2007) - The Tyrrhenian section of San Giovanni di Sinis (Sardinia): stratigraphic record of an irregular single high stand. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 113, 509-523.
- Oppes S. (1973) - La geologia dell'entroterra del Golfo di Alghero (Sardegna). *Bollettino Società Sarda di Scienze Naturali*, 12, 103-11.

- Ozer A. (1976) - Geomorphologie du versant septentrional de la Sardaigne. Étude des fonds sous-marins, de la morphologie côtier et des terrasses fluviales. Epreuve en doctorat en Sciences Geographiques. Fac. Sciences Univ. de Liege, 284 pp.
- Murray A.S. & Wintle A.G. (2000) - Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements*, 32, 57-73.
- Palombo M.R. (2005) - Food habit of "Praemegaceros" cazioti (Depéret, 1897) from Dragonara cave (NW Sardinia, Italy) inferred by cranial morphology and dental wears. In: Alcover J.A. & Bover P. (eds.): *Proceedings of the International Symposium "Insular Vertebrate Evolution: the Palaeontological Approach"*. *Monografies de la Sociedad d'Història Natural de les Balears*, 12, 233-244.
- Pecorini G. (1954) - Le dune fossili della Nurra di Alghero. *Rendiconti Accademia dei Lincei*, 16, 735-741.
- Pecorini G. (1963) - Contributo alla stratigrafia post-miocenica della Nurra di Alghero. *Rendiconti Facoltà Scienze Università Cagliari*, 33, 11.
- Sarjeant W.A.S. (1975) - Fossil tracks and impressions of vertebrates. In: Frey R.W. (ed.), *The study of the trace fossils*. Springer-Verlag, New York: 283-324.
- Shackleton N.J., Sanchez-Goni M.F., Paillet D. & Lancelot Y. (2003) - Marine Isotope Substage 5e Interglacial. In: Van Kolfschoten Th., Gibbard T.L. & Knudsen K.L. (eds.), *The Eemian Interglacial: a global perspective*. *Global & Planetary Change*, 36, 151-155.
- Ulzega A. & Hearty P.J. (1986) - Geomorphology, stratigraphy and geochronology of Late Quaternary marine deposits in Sardinia. *Zeitschrift für Geomorphologie. N. F., Suppl. Bd.*, 62, 119-129.
- Ulzega A. & Ozer A. (1982) - *Comptes-rendus de l'excursion Table ronde Tyrrhenien de Sardaigne*. INQUA (Avril 1980), 110 pp.