UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Geoscienze

Direttore: Prof.ssa Cristina Stefani

Laurea Magistrale in Geologia e Geologia Tecnica

EVOLUZIONE DELLA BASSA PIANURA FRIULANA NEL PLEISTOCENE SUPERIORE

LATE PLEISTOCENE EVOLUTION OF THE LOW FRIULAN PLAIN (NE ITALY)

Relatore:
Dott. Alessandro Fontana

Laureando:
Mario Bresolin

Anno Accademico: 2012-201

Indice

Abstract……3

Premessa……..5

1 Introduzione……7

2 Inquadramento geologico…….....……11
2.1 Inquadramento geografico……...……11
2.2 Geodinamica……..……..……...…..12
2.3Mesozoico……...……..…….…...…12
2.4 Cenozoico……...……..13
2.5 Lineamenti strutturali……...……....15
2.6 Sismicità……16

3 Inquadramento della geologia del quaternario e della geomorfologia……...….17
3.1 Penultima glaciazione……...22
3.2 Tirreniano……..24
3.3 Würm Inferiore e Medio……...…….....26
3.4 LGM…….…….…….27
3.5 Post-LGM…….…….…….....31
3.6 Sistemi alluvionali della pianura friulana…….……..……...32
3.6.1 Megafan del torrente Cormor……..……...32
3.6.2 Conoide del torrente del Corno di San Daniele……..…33
2.6.3 Megafan del fiume Tagliamento……..……33
3.7 Rilievi sabbiosi di San Marco e Belvedere di Aquileia……...……...…...…34

4 Metodi……....41
4.1 Operazioni di carotaggio…….…….……....41
4.2 Descrizione stratigrafica e sedimentologica…….……..……..41
4.3 Campionamento…….…….……...…….45
4.3.1 Tabelle dei campioni…….…….46
4.4 Datazioni al radiocarbonio…….……...…53
4.5 Datazioni ESR…….……...……54
4.6 Rilievi geologici marini…….……...……..55
.

5 Carotaggio PNC1…….…….59
5.1 Fotografie carotaggio PNC1…….……...….60
5.2 Log stratigrafico sondaggio PNC1……...….63

5.3 Descrizione in dettaglio del sondaggio PNC1……76
5.4 Descrizione sedimentologica, sintesi stratigrafica (PNC1)……83
6 Carotaggio BLG1……89
6.1 Fotografie sondaggio BLG1……90
6.2 Log stratigrafico sondaggio BLG1……93
6.3 Descrizione in dettaglio del sondaggio BLG1……105
6.4 Descrizione sedimentologica, sintesi stratigrafica (BLG1)……112

7 Carotaggio CNC4……117
7.1 Fotografie sondaggio CNC4……118
7.2 Log stratigrafico sondaggio CNC4……121
7.3 Descrizione in dettaglio del sondaggio CNC4……132
7.4 Descrizione sedimentologica, sintesi stratigrafica (CNC4)……150
7.5 Risultati analisi (CNC4)……154

8 Risultati Datazioni……157
8.1 Datazioni al radiocarbonio……157
8.2 Risultati datazioni ESR……160

9 Discussione……161
9.1 Unità informali……161
9.2 Correlazione sondaggi PNC1, BLG1 e CNC4……163
9.3 Correlazione con altre stratigrafie profonde della bassa pianura friulana……168
9.4 Confronto con profili geofisici marini……173
9.5 Variazioni eustatiche e subsidenza tettonica nella bassa pianura friulana……177

10 Evoluzione della bassa pianura friulana nel Pleistocene Superiore……183
10.1 La penultima glaciazione (fine del MIS 6)……183
10.2 L'ultimo interglaciale (MIS 5)……183
10.3 Würm Inferiore e Medio (MIS 4 e 3)……185
10.4 LGM……185
10.5 Tardoglaciale……187

11 Conclusioni……189

12 Bibliografia……193

Ringraziamenti

Allegato 1 (correlazioni facies e correlazioni cronostratigrafiche)
Allegato 2 (legenda log)
Allegato 3 (stratigrafie pozzi)

Abstract

This thesis deals with the evolution of the distal portion of the Friulian Plain in the Late Pleistocene. The work begun with the description and the sampling of the cores Piancada (PNC1) and Beligna (BLG), which reached the depth of 64,5 and 60,0 m respectively. Both the boreholes were realized in June 2008; the first near the town of Piancada in the municipality of Palazzolo dello Stella (UD); the second in the locality of Beligna of Aquileia (UD), near the so-called dunes of Belvedere - San Marco.

The cores were stored in the fridge room of the Department of Math and Geosciences of the University of Trieste, were between June and September 2012 they have been cut and documented through detail photography, high-resolution description and drawing of the lithostratigraphic logs. The detailed study of the sedimentary characteristics allowed to identify sedimentary facies and their association.

Many samples were collected with the aim to process them in the future with geochronological, paleoenvironmental and biostratigraphic analyses. In particular macro- and micropaleontologic research will support paleobathimetric information, while pollen investigations will reconstruct the vegetational cover of the region and allow correlation with other deep cores available in the Venetian and Friulian Plain. Two peaty horizons from BLG1 (28.78 and 32.52 m) and two from PNC1 (26.71 and 31.88 m) were radiocarbon dated and gave the calibrated ages of 27.0-26.1, 31.4-31.0, 31.4-31.0 and 42.6-41.5 ka cal BP. These represent some of the very few geochronological constrains available for the Pleistocene subsoil of the Friuli Region. Moreover, in BLG1 the shell fragments from 51,1 m of depth were processed with Electron Spin Resonance (ESR) and this analysis established their deposition during MIS 5.5. In this research also the core CNC4 was considered in detail, re-interpreting the original data; this borehole was realized in 2003 near the center of Concordia Sagittaria (VE). Pollen and paleontologic investigations had been already carried out on CNC4 in the framework of the Geological Map of Italy, sheet 107 Portograuro and allow to consider this stratigraphy as a reference for Late Pleistocene evolution of the Friulian Plain in the coastal sector.

Several other stratigraphic logs were selected after the analysis of the well log data based of the Friuli Venezia Giulia Region; the ones described in detail and within a distance of 15 km were compared to BLG1 and PNC1 trying to correlate some stratigraphic markers. Moreover, during this thesis was possible to join the ocenographic cruise NAD12, on board of the r/v “Urania”, organized by the CNR-ISMAR of Bologna and that surveyed the Italian and Slovenian shelf of Northern Adriatic. Chirp sonar geophysical profiles were acquired and some of them and others collected in previous cruises were analyzed looking for correlation with the information obtained from the stratigraphic logs available along the coast of Friuli.

The paralic deposits referred to the MIS 5.5 are found at 35,77-50,23 m in PNC1, at 39,00-55,41 m in BLG1 and 39,30-51,50 m in CNC4. They sedimented during the Tyrrhenian highstand (132-116 ka cal BP), when sea level reached a maximum

elevation of +6±3 m asl; their current lower elevation has to be related to the tectonic subsidence affecting the area, which is the sum of sedimentary compaction, isostasy and specially crostal deformation.

Considering these paralic deposits in cores CNC4, PNC1 and BLG1, the difference between their original and present elevations and the time elapsed in between, the average values of tectonic subsidence were estimated. Results turned out to be 0.37 mm/yr (CNC4), 0.41 mm/yr (PNC1) and 0.41 mm/yr (BLG1) respectively. These are in accord with the raw estimations obtained by previous studies.

Considering the geographycal distribution of the MIS 5.5 lagoon deposits and their vertical position, the position of the inner margin of the lagoon at the MIS 5.5 highstand was tentatively hypothesized. This reconstruction was based on the original topographic gradient (i.e. 0.1%) of the alluvial plain formed during the penultimate glaciation (MIS 6) and that was after onlapped by the Tyrrheninan transgression. The gradient rapidly increased upstream from the present coastal belt and, thus, the inner margin of the MIS 5.5 lagoon was estimated between 5-10 km northern than BLG1 and PNC1.

To be noted that inside the coastal sequence recognized in CNC4 and PNC1 there is the evidence of a temporary progradation of the alluvial plain and the following re-advance of the lagoon environment over the emerged alluvial plain.

After Tyrrheninan and until the beginning of LGM in the alluvial plains of Northern Adriatic the sedimentation was very limited and probably lacking for prolonged periods encompassing large part of MIS 4 and MIS 3. Sedimentary starvation can be probably explained with the limited sedimentary flux supplied from the mountain catchments and with incision of the fluvial channels. This depositional hiatus is represented by some important peaty layers that accumulated in a swampy environment up to 3 m of thickness. Sometimes, as in CNC4, these organic horizons rest directly on top of the lagoon deposits of MIS 5.5. These peaty layers can be also identified in some of the geophysical profiles acquired on the Adriatic shelf and allow to evidence their importance as stratigraphic marker of regional extent.

The study of core BLG1 demonstrates that the sandy ridges of Belvedere and San Marco, that characterize the area between Aquileia and the rim of Grado Lagoon, formed at the end of the LGM and not during MIS 6, as postulated in the past by several authors. These relieves were probably formed by eolic rework of fluvial channels of Isonzo River, that was flowing in the area at that time.

Premessa

Inizialmente la tesi era partita con altri obiettivi, che consistevano nello studio delle variazioni del livello marino e della subsidenza verificatesi nel post-LGM e nel Pleistocene Superiore nella parte terminale del Fiume Mirna, uno dei maggiori corsi d'acqua dell'Istria, la cui foce è situata tra le città di Cittanova e Parenzo (Croazia). La ricerca prevedeva la realizzazione e studio di una serie di carotaggi manuali da 10 m e di un carotaggio meccanico profondo da circa 120 m. Nel lavoro era pianificata la combinazione tra rilievi di terreno, studi di carote stratigrafiche e analisi morfometriche del bacino idrografico, anche tramite l'utilizzo del software ArcGis 10.
Purtroppo, per i lunghi tempi connessi alla concessione dei permessi di ricerca da parte delle Autorità croate, non era possibile svolgere in tempi ragionevoli tale progetto di tesi e, quindi, si è cambiata l'area di studio, analizzando in dettaglio tre carotaggi profondi (BLG1, PNC1 e CNC4), precedentemente realizzati nella bassa pianura friulana fra Aquileia e Concordia Sagittaria. La tematica ha comunque riguardato l'evoluzione dell'area in rapporto alle variazioni eustatiche verificatesi nel Pleistocene Superiore e alla subsidenza.
Durante lo svolgimento della tesi, tra il 18-29 maggio 2012, si è potuto partecipare alla crociera oceanografica NAD12 a bordo della nave Urania, in collaborazione con il CNR-ISMAR di Bologna. Ciò ha permesso di vivere un'intensa esperienza di ricerca, durante la quale si sono raccolti dati interessanti per studiare i rapporti tra la pianura friulana e la piattaforma adriatica.
Inoltre, c'è stata la possibilità di svolgere uno stage formativo finanziato dalla Regione Veneto all'interno del progetto INTERREG "PArSJAd – Metaprogetto del Parco Archeologico dell'Alto Adriatico", all'interno di una convenzione tra l'ente regionale e il Dipartimento di Geoscienze (responsabile Paolo Mozzi). Lo stage è stato condotto in parte nella sede dell'ufficio "Politiche Comunitarie" della Regione Veneto e in parte presso il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova, in collaborazione anche col Dott. Francesco Ferrarese, tecnico GIS dell'ex Dipartimento di Geografia, ora DISSGEA. Il lavoro di stage ha consistito nella fotointerpretazione dell'area perilagunare situata fra i fiumi Piave e Livenza, evidenziando le tracce paleoidrografiche e archeologiche presenti nella zona.
In tutte queste esperienze c'è stata una stretta collaborazione con il collega di studi Francesco Di Mario, impegnato in una tesi riguardante l'evoluzione dell'area della Bonifica di Muzzana in rapporto alla trasgressione marina olocenica. Questa zona, situata al bordo della laguna di Marano si trova a soli 2 km dal carotaggio PNC1, studiato in questa tesi.

1 Introduzione

Nell'ambito di questo lavoro si sono studiati e descritti due carotaggi geognostici profondi. Il sondaggio PNC1, perforato in località di Piancada di Palazzolo dello Stella (UD) e profondo 64,5 m, ed il sondaggio BLG1, realizzato in località Beligna di Aquileia (UD) e profondo 60,0 m.
Durante la descrizione stratigrafica di dettaglio delle carote sono stati prelevati anche numerosi campioni di sedimenti fini da sottoporre ad eventuali successive analisi polliniche, macro e micropaleontologiche; si sono selezionati intervalli sabbiosi da analizzare petrograficamente e livelli torbosi da sottoporre alla datazione assoluta con il metodo del radiocarbonio.
Le informazioni ottenute dai carotaggi PNC1 e BLG1 sono state confrontate con quelle del sondaggio geognostico CNC4, perforato in località Concordia Sagittaria, perforato e analizzato nel 2003 all'interno del progetto CARG (CARtografia Geologica) per la realizzazione del Foglio 107 "Portograuro" e la cui stratigrafia riassuntiva è stata pubblicata assieme alle relative analisi paleontologiche, polliniche e geocronologiche nelle note illustrative (Fontana et al., 2012). La stratigrafia di CNC4 è stata completamente rianalizzata per poterla confrontare in dettaglio con le stratigrafie inedite dei sondaggi PNC1 e BLG1.
I tre sondaggi considerati distano rispettivamente circa 20 km l'uno dall'altro, costituendo quindi, nel loro insieme, un transetto est-ovest che permette la caratterizzazione del sottosuolo della bassa pianura friulana.
Gli obbiettivi preposti di questo lavoro sono stati:

1. Ricostruire la stratigrafia dei sondaggi PNC1 e BLG1.
2. Distinguerne le unità litostratigrafiche e cronostratigrafiche.
3. Identificare i depositi riferibili all'ultimo interglaciale (MIS 5.5).
4. Correlare in dettaglio i sondaggi PNC1 e BLG1 con il carotaggio CNC4 e, successivamente, confrontarli con altre stratigrafie profonde disponibili nella bassa pianura friulana.
5. Correlare le informazioni riguardanti l'attuale pianura con il sottosuolo della piattaforma adriatica, tramite profili geofisici acquisiti in mare durante le campagne di geologia marina VE04, VE05 e NAD12.
6. Ricostruire le variazioni del livello marino relativo avvenute durante il Pleistocene Superiore nella bassa pianura friulana.
7. Ricostruire il limite più interno raggiunto dagli ambienti lagunari durante l'ultimo interglaciale.
8. Stimare i tassi medi di subsidenza tettonica che hanno caratterizzato le aree dei tre carotaggi tra il MIS 5.5 e l'attuale, ossia negli ultimi 125.000 anni circa.
9. Determinare l'età presunta e l'origine delle dune di Belvedere-San Marco di Aquileia.

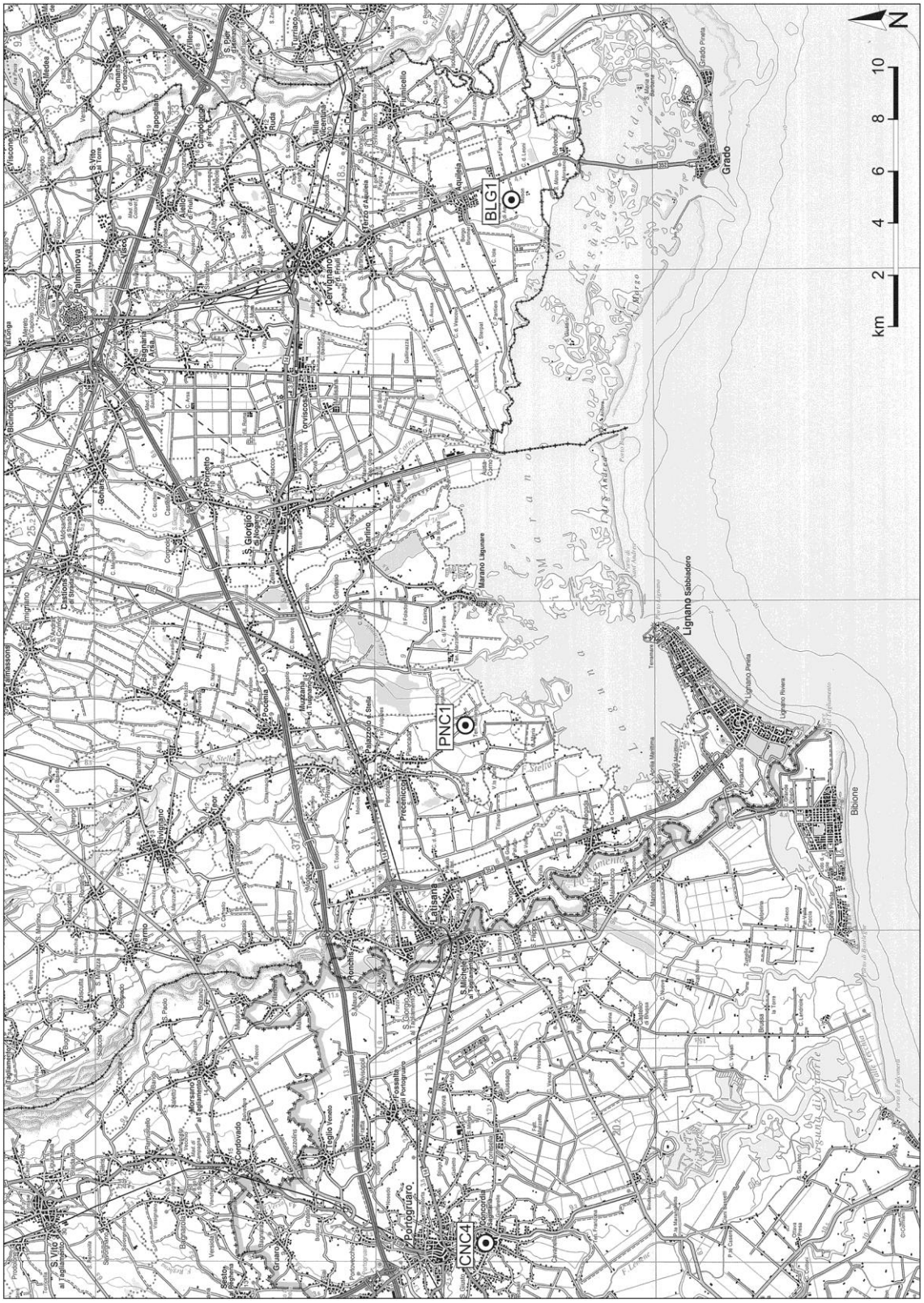


Fig. 1.1 Ubicazione carotaggi CNC4, PNC1 e BLG1.

I carotaggi PNC1 e BLG1 erano stati realizzati nel giugno del 2008 all'interno del progetto VECTOR (VulnErabilità delle Coste e degli ecosistemi marini italiani ai cambiamenti climaTici e loro ruolO nei cicli del caRbonio mediterraneo), svoltosi tra il 2006 e il 2009 e i cui responsabili per le unità di ricerca impegnate lungo le coste friulane erano il Dott. Fabrizio Antonioli e il Prof. Giorgio Fontolan. I sondaggi avevano lo scopo di individuare i depositi marini relativi all'ultimo interglaciale e tentare una loro datazione assoluta tramite il metodo ESR (si veda capitolo 4). Tuttavia, dopo il prelievo dei campioni da sottoporre all'analisi geocronologica, le carote non erano mai state descritte ma, fortunatamente, erano conservate nella cella frigorifera del Dipartimento di Geoscienze e Matemetica dell'Università di Trieste, garantendone un'ottima preservazione. L'occasione di poterli analizzare in dettaglio è stata data dal progetto di Ateneo "Studio delle variazioni eustatiche e della subsidenza in Alto Adriatico negli ultimi 130.000 anni attraverso indicatori geomorfologici, stratigrafici e geoarcheologici", finanziato nel 2010 dall'Università degli Studi di Padova e di cui è responsabile il Dr. Alessandro Fontana del Dipartimento di Geoscienze.
Le informazioni ottenute dalle successioni stratigrafiche attraversate da PNC1, BLG1 e CNC4 hanno permesso di riconoscere alcuni elementi stratigrafici che caratterizzano con relativa continuità il sottosuolo della pianura friulana e che sono riconoscibili anche in stratigrafie meno dettagliate, come quelle raccolte dal catasto pozzi della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia (1990). In particolare, si sono utilizzabili i depositi paralici formatisi durante la trasgressione marina dell'ultimo interglaciale e alcuni orizzonti torbosi accumulatisi durante il periodo würmiano, ma prima dell'ultimo massimo glaciale (LGM).
Tali orizzonti torbosi sono in parte riconoscibili anche nei profili geofisici disponibili per il fondale dell' Adriatico Settentrionale, acquisiti dal CNR-ISMAR di Bologna con la nave Urania per la realizzazione della carta geologica dei mari italiani, Foglio NL 33-7 "Venezia" (Trincardi et al., 2011) e durante la crociera NAD12, cui si è potuto partecipare direttamente.
Questa tesi ha come oggetto il sottosuolo della pianura friulana, ma consente anche di presentare nuove informazioni, fondamentali per la caratterizzazione delle cosiddette "dune di Belvedere-San Marco di Aquileia", studiate dagli inizi del XX secolo e sulla cui origine ed età di formazione si sono interrogati numerosi autori (Feruglio, 1925; Comel, 1958; Marocco, 1991b; 1994).

2 Inquadramento geologico

2.1 Inquadramento geografico

La pianura veneto-friulana è l'estrema propaggine orientale della pianura Padana ed è caratterizzata, in primo luogo, dal fatto che il suo sistema idrografico principale sfocia direttamente nel Mare Adriatico e, in secondo luogo, è molto distintiva la breve distanza che intercorre dal margine alpino all'attuale linea di costa. Tutto ciò ha reso possibile una vasta gamma di ambienti sedimentari caratterizzati da una limitata estensione e da un gradiente topografico particolarmente ripido; infatti, tuttora il passaggio progressivo da ambienti di conoide fluviale ad ambienti lagunari e marini è molto rapido.

Fig. 2.1 Immagine satellitare Landsat della pianura veneto-friulana (www.flashearth.com).

La pianura friulana è limitata a nord dalle Prealpi Carniche mentre, oltre allo sbocco vallivo del fiume Tagliamento, sono presenti le Prealpi Giulie, che sfumano poi nel Carso goriziano e triestino. La costa adriatica segna il margine meridionale della zona, dove si susseguono i litorali sabbiosi alimentati dalle foci dei maggiori corsi d'acqua, che separano importanti zone lagunari. Verso est, invece, oltre Monfalcone la costa è evidenziata da alte falesie rocciose.

2.2 Geodinamica

Dal punto di vista geodinamico, la pianura veneto-friulana e il mare Adriatico settentrionale appartengono alla micro placca Adria, identificandone uno specifico settore soggetto all'interferenza del sistema tettonico dinarico e di quello alpino (Vai et al., 2002).
Le Alpi sono una parte del sistema orogenico alpino-himalaiano di età cretaceo-cenozoica, la micro placca Adria appartenente alla placca Africana andò a collidere con i margini della placca Europea (quest'ultima in subduzione al di sotto della placca Africana).
Le Alpi sono una catena montuosa che presenta una struttura a doppia vergenza: una alpina con vergenza Nord di età cretacea; la seconda a vergenza Sud definita come Sud Alpino o Alpi Meridionali di età miocenica. I due sistemi sono divisi da una serie di faglie che compongono il Lineamento Periadriatico.
La catena Sudalpina orientale si estende dal sistema della faglia Schio-Vicenza, a ovest, al sistema di Idrija, a est, che interessa l'area a cavallo del confine italo-sloveno; a nord essa è separata dal sistema di falde Austroalpine dal Lineamento Periadriatico.
Nella parte interna della catena Sudalpina orientale sono presenti scaglie di basamento (Merlini et al., 2002; Poli et al., 2002); nell'area pre-alpina la catena è invece formata solo da sovrascorrimenti pellicolari di copertura (thin-skinned thrust) che si appilano mediamente verso meridione sull'avampaese e ne incorporano porzioni successive mediante l'attivazione di nuovi sovrascorrimenti (Peruzza et al., 2002; Galadini et al., 2005; Zanferrari et al., 2008a, 2008b, 2008c).

2.3 Mesozoico

Nell'ambito della pianura veneto-friulana non esistono ad oggi studi che diano prove dirette o indirette sulla successione alpina fra il Permiano superiore e il Carnico, tuttavia la comunità scientifica crede che nelle linee generali la situazione non dovrebbe più di tanto discostarsi da quella classica della regione carnico-dolomitica.
Gli ambienti e le architetture deposizionali, come l'andamento strutturale che parte dalla base della Dolomia Principale fino alla base dei depositi quaternari, e ben conosciuta grazie alla fornita rete di linee sismiche industriali, tarate con dei pozzi AGIP, che vanno a coprire la pianura veneto-friulana e l'Alto Adriatico. L'unconformity carnica e ben riconoscibile come orizzonte sismostratigrafico e si trova alla base della Dolomia Principale (Zanferrari, 2012). La successione carbonatica del Mesozoico (247-65 Ma) arriva a raggiungere degli spessori di 6-7 km.
Le formazioni carbonatiche costituiscono l'elemento sedimentario e strutturale più rilevante della pianura veneto-friulana, definito come Piattaforma Mesozoica Friulana e che ha svolto la funzione di avampaese tra il bacino alpino, ad occidente, e quello dinarico, ad oriente (Amato et al., 1976; Cati et al., 1987).

Una successiva distensione nel tardo Liassico (85 Ma) produsse la frammentazione in blocchi della piattaforma, che portarono ad una differenziazione di ambienti con la formazione di aree di mare sottile (shelf), aree di mare più profondo (bacini) a loro volta collegate con delle scarpate (slope). Queste strutture hanno influenzato anche la deposizione di sedimenti nel Cretaceo.

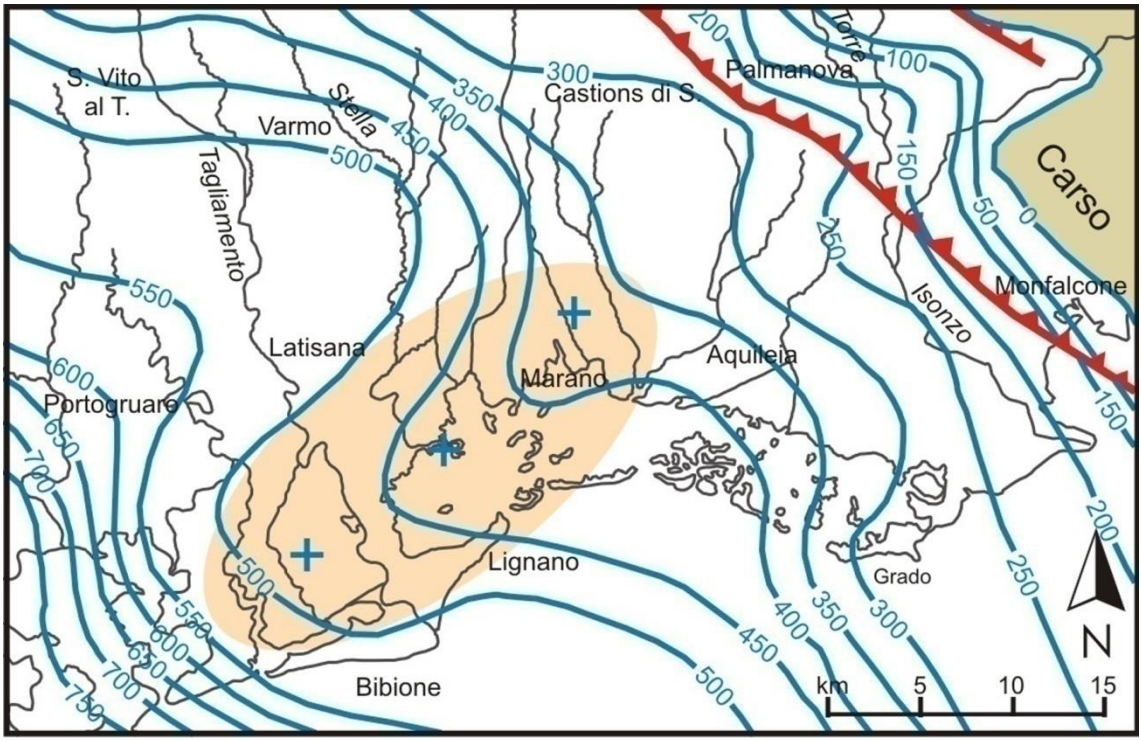


Fig. 2.2 Isobate relative al tetto dei calcari mesozoici; le quote sono espressi in m su mls (Fontana, 2006).

2.4 Cenozoico

Nel Cretaceo-Paleogene l'orogenesi dinarica, causata dalla compressione tra la placca adriatica e la placca europea, produsse l'emersione di alcune aree tra cui la dorsale di Cesarolo; le indagini geofisiche hanno evidenziato la sua marginazione da parte di due direttrici strutturali prevalenti: la principale WSW-ENE (sudalpina) e quella NW-SE (dinarica), ambedue attive nell'evoluzione paleogeografica della regione (Barnaba, 1990). Anche nel pozzo denominato Grado 1, eseguito nel 2008 e profondo 1108 m, c'è l'evidenza di un thrust frontale dinarico orientato NW-SE (Cimolino et al., 2010).
A sud e a ovest dell'alto di Cesarolo si è avuta una continua deposizione di materiale terrigeno fino all'Oligocene, mentre a nord, sono presenti delle successioni torbiditiche (flysch) fino all'Eocene.
Solo nel Miocene la zona di Cesarolo è interessata dalla trasgressione, dove i depositi epicontinentali ricoprono tutto il territorio della regione.
Nel Messiniano (6,5-4 Ma) si verificò in tutto il Mediterraneo un generale abbassamento del livello marino, che causò un notevole riassetto morfologico, che influenzò la successiva evoluzione geologica della pianura friulana.

Il substrato prequaternario risale da occidente verso oriente e, di conseguenza, si nota la diminuzione di spessore della coltre quaternaria che dagli 856 m di S. Stino si riduce ai 745 m ai Cavanella e ai 475 m a Cesarolo; quindi passa ai 290 m di Grado, per poi azzerarsi prima degli affioramenti del substrato ad oriente di Monfalcone (Zanferrani et al., 1982; Cimolino et al., 2010).
Un quadro completo dell'evoluzione mesozoica e cenozoica della pianura veneto-friulana è fornito da alcuni pozzi profondi eseguiti dall'azienda AGIP, essi sono Cavanella 1 profondo 1486 m, San Stino 1 profondo 1801 m e i più profondi Cesarolo 1 di 4332 m e San Donà 1 di 3081 m; questi sono sondaggi tutti situati in prossimità del margine della Piattaforma Carbonatica Friulana verso il Bacino di Belluno.

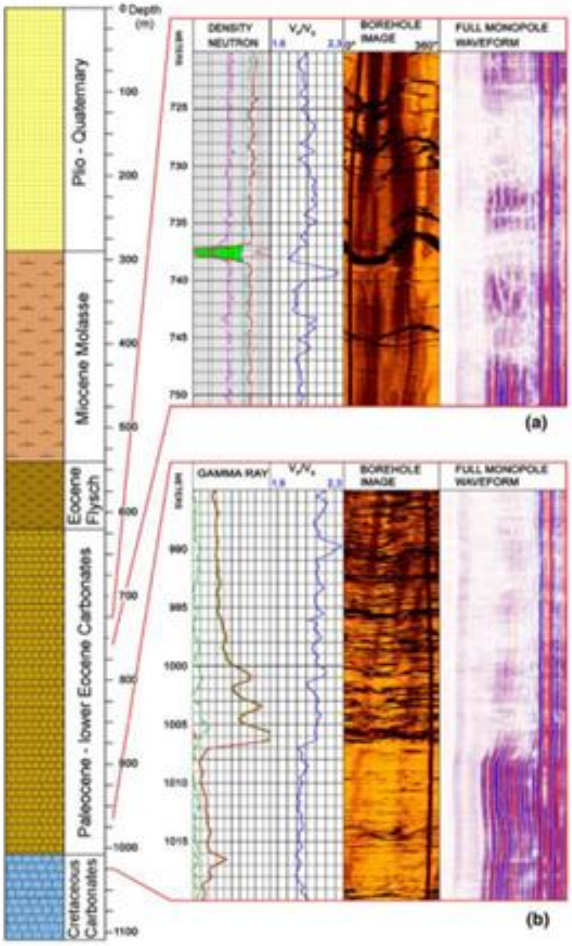


Fig. 2.3 Log stratigrafico. L'immagine a) rivela che nella maggior zona di frattura dei calcari del Paleogene alla profondità di -736 m c'è un picco negativo nella densità di neutroni, mentre mostra un picco positivo nel rapporto Vp/Vs, l'immagine acustica e l'attenuazione delle onde sono state ottenute tramite una sorgente monopolo; b) il contatto Paleocene/Mesozoico alla profondità di 1007 m è stato controllato con raggi gamma e con tre picchi di uranio vicino alla base del Paleocene (limite K/T); (Cimolino et al., 2010).

Dal log stratigrafico del pozzo geotermico di Grado1, oltre alla copertura terrigena che termina prima dei 300 m, si osserva la successione marnoso-sabbiosa Neogenica (circa 250 m), che è ricca di faune neritiche ed è costituita da 100 m di faune pelagiche. Le

torbiditi Paleogeniche (flysch dell'Eocene) hanno circa uno spessore di 50-60 m e sono composte da marne verdi provenienti da fonti distali con componenti glauconitiche, simili alle marne verdi basali riconoscibili in Istria al contatto affiorante dei carbonati Paleogenici.
Le piattaforme carbonatiche del Paleocene e del Eocene inferiore, che si incontrano a 616,5 m, presentano la tipica associazione *Alveolinidae-Nummulitidae-Orbitolites* e hanno uno spessore di 150 m.
Si identifica un duplex nell'intervallo dei carbonati fra il Paleocene-Eocene Inferiore, quest'intervallo ha uno spessore di 400 m e si presenta fortemente fratturato.
Infine si rilevano tre discontinuità tettoniche di diversa orientazione, genesi ed intensità. La maggiore è ad una profondità di -736 m ed è interpretata come una faglia inversa (Cimolino, 2010).

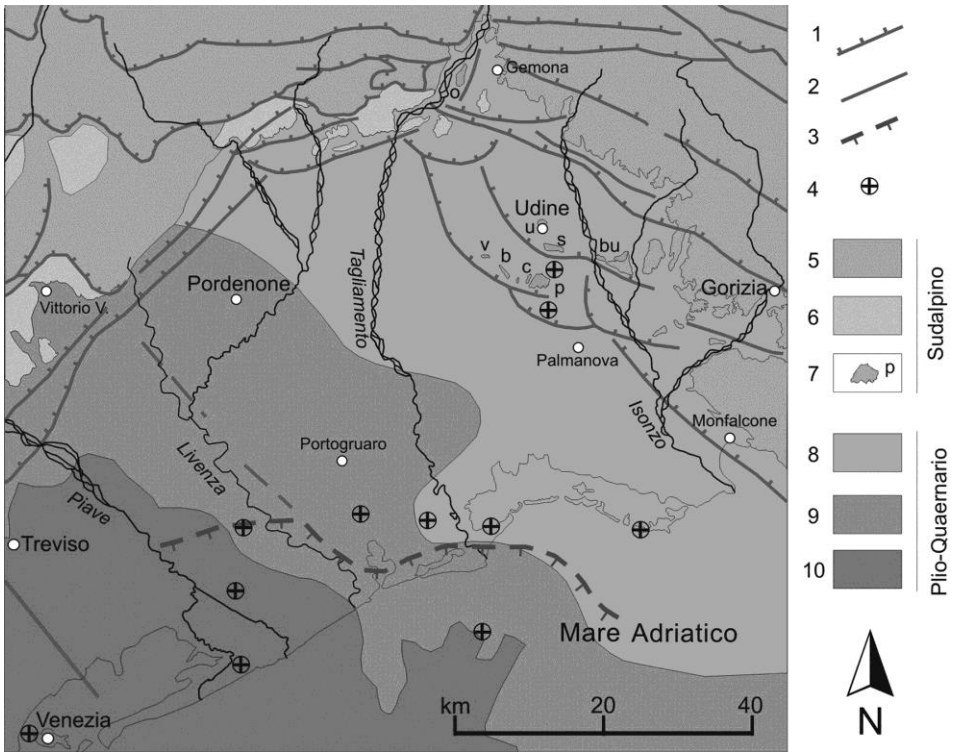


Fig. 2.4 Carta tettonica semplificata della pianura friulana. Legenda: 1) sovrascorrimenti; 2) faglie; 3) limiti della piattaforma mesozoica friulana; 4) sondaggi geognostici profondi; 5) Alpi Meridionali: copertura sedimentaria permiana, mesozoica e terziaria; 6) avampaese delle Alpi Meridionali: flysch e conglomerati oligo-miocenici; 7) terrazzi tettonici;8) isopache dei depositi plio-quaternari, 500 m; 9) 1000 m; 10) 1500 m (da Fontana, 2006)

2.5 Lineamenti strutturali

I lavori più recenti riguardanti l'assetto tettonico del NE Italiano hanno cambiato alcune delle conoscenze date per assodate nella letteratura precedetene (Zanferrari, 2012). In particolare ora viene fortemente ridimensionato il ruolo della Linea di Caorle-Montagner, prima ritenuta una faglia diretta con una componente trascorrente destra, attiva fino alla fine del Mesozoico; ad essa veniva imputato l'abbassamento dell'area

più occidentale della pianura friulana. Attualmente, invece, si pensa che la Linea di Caorle non sia stata attiva nel Quaternario e che la notevole differenza di profondità a cui si trova il substrato terziario a est e ovest di essa sia dovuto all'attività erosiva attuatasi durante l'abbassamento del Mediterraneo avvenuto nel Messiniano (Zanferrari, 2012). La Linea di Palmanova, invece, è un sovrascorrimento sudalpino che era attivo fin dopo il Tortoniano (9 Ma) e che ha un andamento ESE-WSW.

2.6 Sismicità

Nonostante esista una correlazione fra eventi sismici, strutture tettoniche e processi deposizionali, resta comunque difficile poter dimostrare un legame diretto fra queste importanti entità nel tardo Quaternario della bassa pianura friulana.
Nell'area di pianura si sono verificati alcuni eventi sismici di bassa entità rispetto a quelli che potrebbero essersi verificati nell'area prealpina; ciò dimostra in modo indiscutibile una continua attività tettonica in tutta l'area della pianura veneto-friulana. Tra gli eventi avvertiti più recentemente vi sono le sequenze sismiche di S. Stino di Livenza del 1997-99 (Magnitudo 3 circa, di Cesarolo-Latisana del 1975-77, il sisma del 1995 registrato fra Latisana e Rivignano e quello tra Varmo e Codroipo del 1991 (Peruzza et al., 2002; Peruzza, 2012).
Si devono poi segnalare le forti sorgenti sismogeniche delle Prealpi Friulane e Giulie che hanno causato i forti terremoti di Gemona del Friuli (6/5/1976; 20/09/1976; Mw 6.4) e di Bovec (12/4/1998; Mw 5.6).

3 Geologia del Quaternario e Geomorfologia

La pianura friulana come del resto tutta la pianura Padana lungo il versante alpino è caratterizzata dalla linea delle risorgive, ove viene alla luce la falda freatica; da questa fascia si originano i fiumi di risorgiva che hanno un flusso delle acque quasi costante durante tutto l'anno con un apporto solido molto limitato, non avendo un bacino montano. Quest'area, che ha un'ampiezza variabile da 2 a 8 km, viene identificata come media pianura, essa dal punto di vista geografico e geomorfologico separa l'alta pianura ghiaiosa dalla bassa pianura limoso-argillosa.

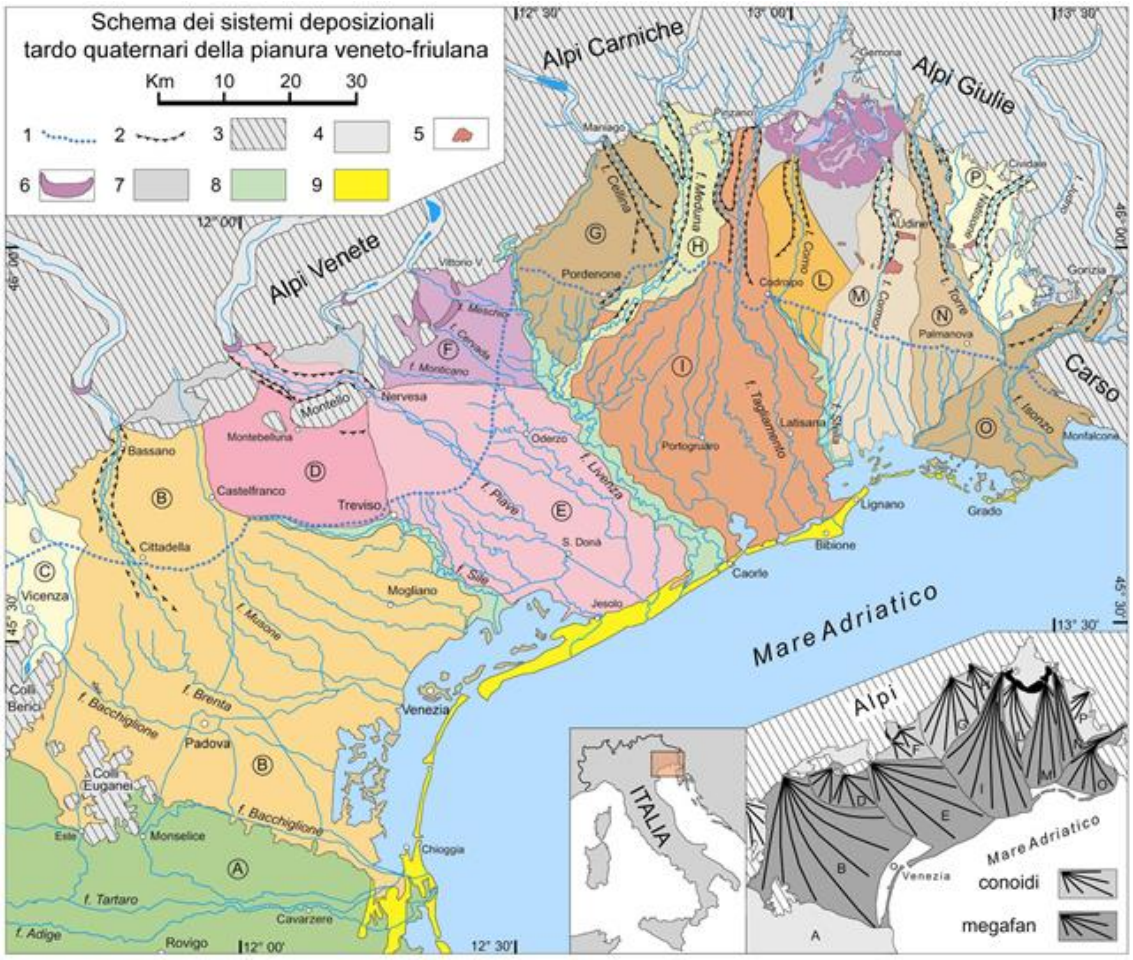


Fig. 3.1 Schema dei sistemi deposizionali tardo quaternari della pianura veneto-friulana. Nel riquadro in basso a destra uno schizzo semplificato dei conoidi e megafan (Atlante Geologico della Provincia di Venezia, 2011). Legenda: 1) limite superiore delle risorgive; 2) orlo di terrazzo fluviale; 3) aree montuose e collinari; 4) principali valli alpine; 5) terrazzi tettonici; 6) cordoni morenici; 7) depositi di interconoidi e delle zone intermontane; 8) depositi dei principali fiumi di risorgiva; 9) sistemi costieri e deltizi. A) pianura dell'Adige; B) megafan del Brenta; C) conoide dell'Astico; D) megafan di Montebelluna; E) Megafan di Nervesa; F) conoide del Monticano-Cerveda-Meschio; G) conoide del Cellina; H) conoide di Meduna; megafan del Tagliamento; L) conoide del Natisone.

I sistemi fluviali alpini, con la loro evoluzione, hanno creato dei sistemi deposizionali che in pianta hanno una forma a ventaglio e sono descritti come megafan alluvionali per le loro notevoli dimensioni areali, per la differenziazione longitudinale di facies deposizionali che li caratterizza da monte a valle e per la continuità morfologica riconoscibile dall'apice fino ai settori più distali (Fontana et al., 2004; 2008).
Questi corpi non sono descritti come conoidi alluvionali, in quanto nella porzione distale sono costituiti da sedimenti prevalentemente fini e hanno una bassissima pendenza.
Prima delle bonifiche esistevano vari settori caratterizzati da terreni palustri sia d'acqua salmastra sia dolce, dovute alla presenza delle aree lagunari che influenzavano il deflusso superficiale rendendolo particolarmente scarso. Anche le deviazioni artificiali dei corsi d'acqua operate a partire dal XV secolo hanno influenzato pesantemente l'attuale morfologia del territorio. Attualmente l'urbanizzazione, che ha portato tutta l'area costiera a diventare sede di aree balneari, ha influenzato pesantemente le coste. Queste oggi necessitano di notevoli sforzi per contrastare la forte erosione delle spiagge in atto negli ultimi decenni. L'insieme di questi interventi ha prodotto su molte delle aree bonificate un aumento della subsidenza, che ha portato le aree emerse ad avere una quota inferiore rispetto a quelle lagunari attualmente sommerse.
La copertura terrigena della pianura friulana orientale è stato dimostrato essere composta da sedimenti Plio-Pleistocenici, con spessori di poco inferiori ai 300 metri, mentre più a occidente lo spessore aumenta (Fig. 3.2). Questi sedimenti composti da sabbie, ghiaie e limi coprono in modo non del tutto uniforme il substrato pre-quaternario del nord Adriatico e della pianura veneto-friulana (Cimolino, 2010).Le isobate della base del Quaternario riportate in Fig. 3.2 sono state definite utilizzando i pozzi per l'acqua e i profili sismici ad alta risoluzione.

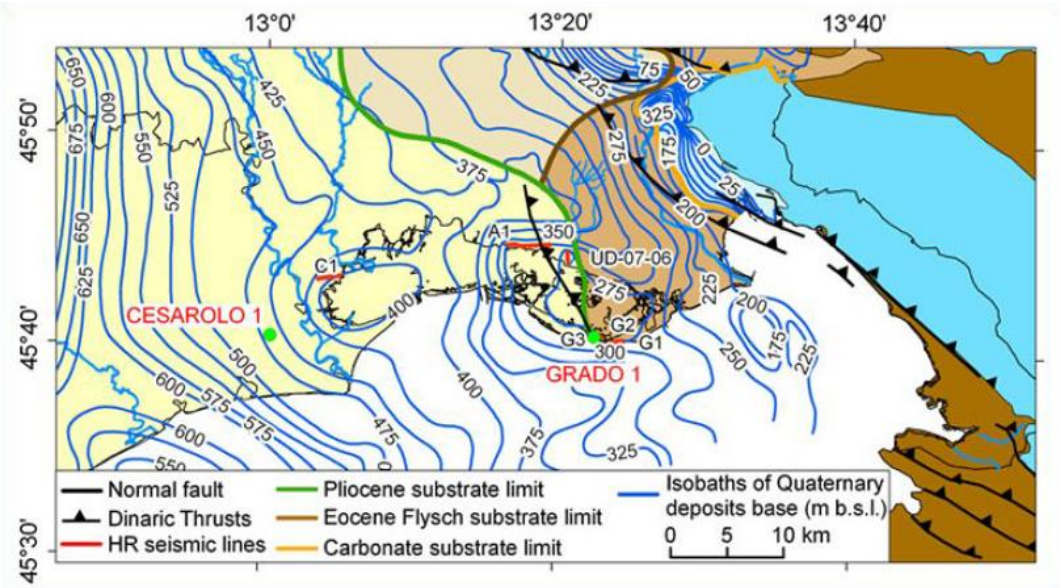


Fig. 3.2 Isobate della base del Quaternario con affioramenti di flysch (marrone) e carbonati (blu). Substrato pre-quaternario: depositi pleistocenici (giallo), Molassa Miocenica (beige), flysch del Eocene (marrone chiaro) e unità carbonatiche (blu chiaro); (Cimolino et al., 2010).

Nella pianura veneto-friulana i sedimenti quaternari alla base mostrano una sequenza marina con intercalate alcune sequenze continentali che aumentano di frequenza verso l'alto.
Fino a pochi anni fa gli unici dati disponibili per il sottosuolo della bassa pianura friulana e veneta orientale erano i lavori di Feruglio (1936) e Martinis (1953; 1957) che fornivano un'idea generale delle profondità alla quale si trovano sedimenti di origine marina e lagunare rispetto ai sedimenti di sicura provenienza continentale. Frequenti sono i depositi torbosi, particolarmente potenti ed estesi fra i 50 e i 25 m di profondità. Alle torbe sono legate le manifestazioni di gas metano, misto probabilmente ad idrogeno solforato.
I sondaggi presi in esame da Feruglio e Martinis, mostrano dall'alto al basso una sequenza complessa. Sabbie ed argille, più o meno sviluppate localmente, con intercalazioni torbose; indicano alternanze di condizioni ambientali lagunari, deltizie e palustri. La prevalenza di argille in alcune sequenze suggerisce un ambiente di deposizione litorale-lagunare. Infine, erano segnalate delle ghiaie a circa 180-200 m, interpretate come il prodotto di un'intensa attività alluvionale che potrebbe essersi deposta sia in ambiente marino che in ambiente subaereo.
Nella bassa pianura friulana i sedimenti marini ricchi in fossili sono generalmente individuabili in un intervallo di profondità che va dai 35 m ai 50 m.Questi sedimenti marini sono separati dai sedimenti di origine continentale da degli strati di torba che possono essere più o meno potenti, generalmente con uno spessore non superiore ai tre metri.L'analisi della distribuzione areale delle ghiaie nei primi 120 m di profondità permette l'individuazione delle principali direttrici di apporto sedimentario di origine fluviale degli ultimi 200.000 anni (Stefanini e Cucchi,1977; 1978). Le analisi svolte sono state dedotte dai dati stratigrafici relativi ai pozzi per acqua esistenti, considerando gli intervalli di profondità 0-30, 30-60, 60-90, 90-120 m. Questi dati poi sono stati riportati su delle carte in valori percentuali (0% , 20%, 40%, 60%, 80% e 100%).Nella figura 3.3 è riportato l'andamento delle isopache percentuali delle ghiaie nell'intervallo 0-30 m; l'andamento di queste isopache mostra due zone a caratteristiche diverse: la prima, pedemontana con ghiaie prevalenti, la seconda più a valle dove le ghiaie sono assenti. L'isopaca 80% è la più adatta a definire i conoidi di deiezione, questi risultano costituire due complessi: il primo del Piave e di altri corsi d'acqua che sfociano in pianura nei pressi di Vittorio Veneto; il secondo costituito dai conoidi di Cellina-Meduna, Tagliamento, Torre, Natisone e Isonzo. Inoltre lo studio delle isopache, di quest'intervallo, individua le parti apicali dei conoidi ma soprattutto di vecchi alvei fluviali abbandonati. Infatti, si mette in evidenza come il Piave abbia più volte cambiato il proprio corso interessando un'estesa zona che si estende ad Est fino all'attuale F. Monticano. Maggiori sono le divagazioni dei corsi dei fiumi Cellina-Meduna, Tagliamento e Torre. Ai piedi dell'anfiteatro morenico del ghiacciaio del Tagliamento vi è una vasta area a ventaglio completamente ghiaiosa (isopaca 100%) la cui genesi è attribuibile ai depositi del fiume Tagliamento. Per l'area orientale della pianura friulana le deviazioni dei fiumi Nastione e Isonzo sono difficilmente indagabili.

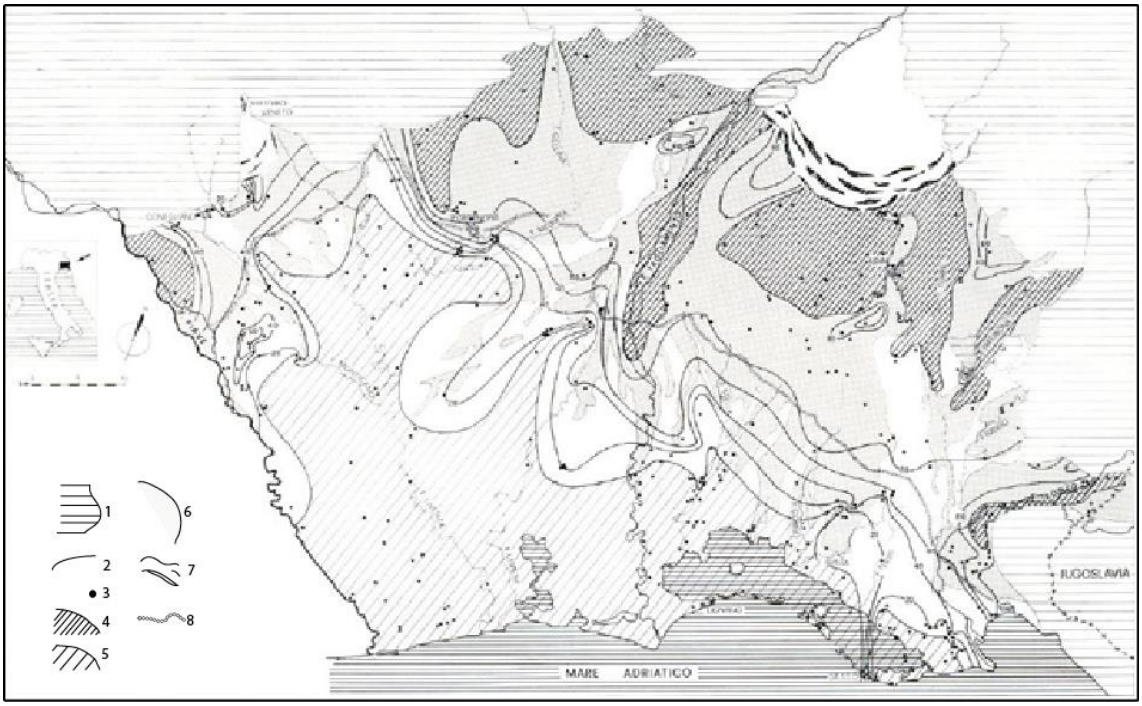


Fig. 3.3 Carta delle isopache percentuali per l'intervallo di profondità 0-30 m (Stefanini e Cucchi, 1977). Legenda: 1) area montana; 2) isopache percentuali; 3) Ubicazione pozzi; 4) aree con il 100% di ghiaie; 5) aree con 0%di ghiaie; 6) ghiaie superficiali; 7) anfiteatri morenici; 8) linea delle risorgive.

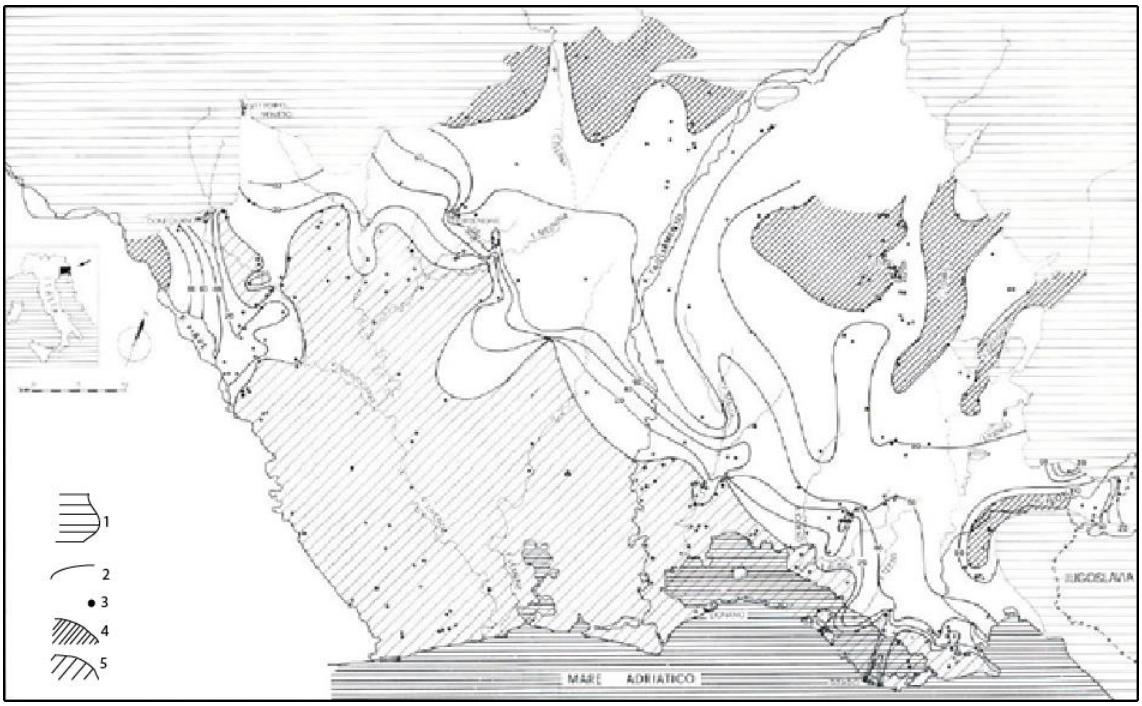


Fig. 3.4 Carta delle isopache percentuali per l'intervallo di profondità 30-60 m (Stefanini e Cucchi, 1977). Legenda: 1) area montana; 2) isopache percentuali; 3) ubicazione pozzi; 4) aree con il 00% di ghiaie; 5) aree con 0% di ghiaie.

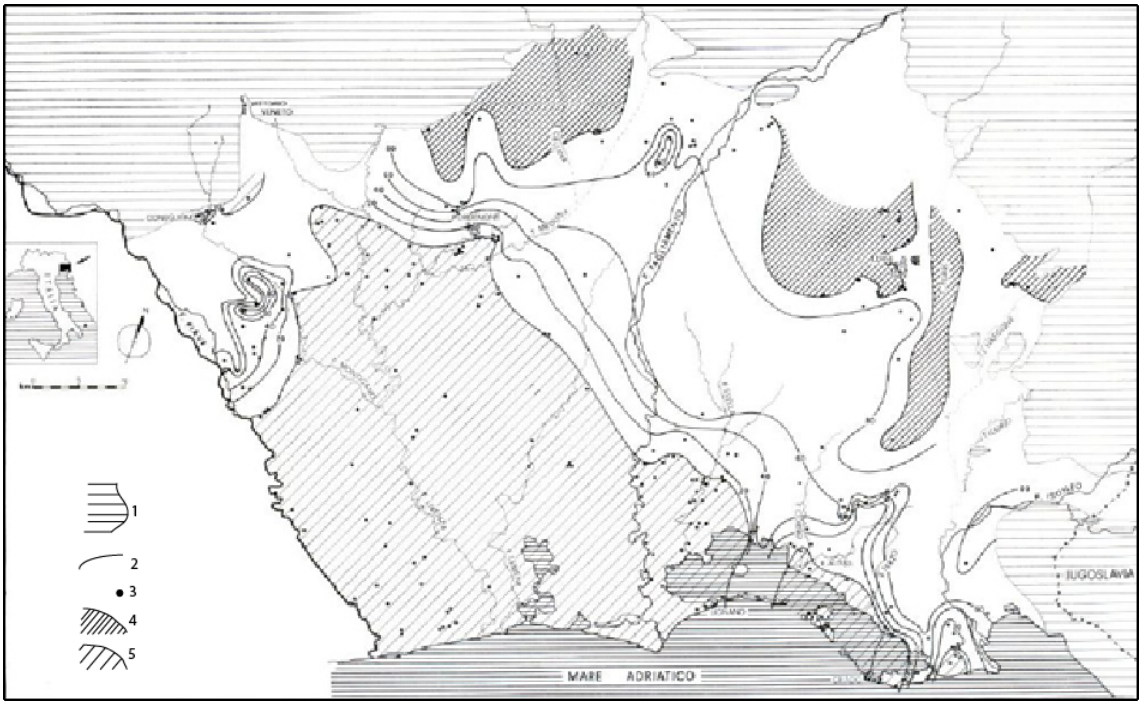


Fig. 3.5 Carta delle isopache percentuali per l'intervallo di profondità 60-90 m (Stefanini e Cucchi, 1977). Legenda: 1) area montana; 2) isopache percentuali; 3) ubicazione pozzi; 4) aree con il 00% di ghiaie; 5) aree con 0% di ghiaie.

Fig. 3.6 Carta delle isopache percentuali per l'intervallo di profondità 30-60 m (Stefanini e Cucchi, 1977). Legenda: 1) area montana; 2) isopache percentuali; 3) ubicazione pozzi; 4) aree con il 00% di ghiaie; 5) aree con 0% di ghiaie.

Nella figura 3.4 è riportato l'andamento delle ispocahe nell'intervallo fra 30 e 60 m. Nell'area di Conegliano si accentua una separazione tra i conoidi del Piave e i conoidi dei corsi d'acqua dell'area di Vittorio Veneto. Si osserva inoltre che nella zona occidentale l'area dove non sono presenti ghiaie (isopaca 0%) si estende più a nord rispetto a quella dell'intervallo precedente. Nella zona di competenza del Cellina-Meduna sussiste un'area di depressione allungata a sud di Pordenone con direzione NE-SW; indicando uno scorrere del fiume Tagliamento in direzione del Livenza. Nell'area del Tagliamento la isopaca 80%, indica come esso abbia avuto altre due vie preferenziali sempre più ad oriente dell'attuale; la prima coincidente al Stella e la seconda impostata sul Corno. L'andamento delle isopache mostra percorsi distinti per il Torre e il Natisone, mentre l'Isonzo continua a scorrere alle falde del Carso goriziano in una posizione più orientale dell'attuale.
Nella figura 3.5 che individua l'intervallo 60-90 m i conoidi del Piave e dei corsi d'acqua di Vittorio Veneto rimangono separati da quelli orientali. Si evidenzia anche una riduzione delle aree totalmente occupate da ghiaie. L'area depressa a sud di Pordenone scompare a riprova che il Tagliamento è migrato verso occidente solo in tempi relativamente recenti.
Scarsi sono i dati con i quali si sono ricavate le isopache della figura 3.6, che individua l'intervallo 90-120 m in quanto molti pozzi non raggiungevano tale profondità (Stefanini e Cucchi,1977).

3.1 Penultima glaciazione

La figura 3.7 mostra come sia stato possibile correlare la curva eustatica, che visualizza l'abbassamento e l'innalzamento del livello marino a scala globale, con la teoria di Milankovic, che lega i cicli glaciali a fattori astronomici. Questi fattori sono meglio definiti come la variazione dell'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre, la precessione dell'asse di rotazione e la variazione dell'ellitticità dell'orbita terrestre. Inoltre si sono eseguite delle datazioni U-Th su degli speleotemi nella grotta di Argentarola in Italia che hanno ulteriormente avvalorato la teoria di Milankovic (Dutton et al., 2009).
MIS è l'acronimo dell'inglese Marine Isotopic Stage (Martinson et al., 1987); la numerazione degli stage parte dall'Olocene, corrispondente al MIS 1, e aumenta andando indietro nel tempo. Gli stage dispari indicano periodi più caldi, mentre quelli pari indicano periodi più freddi. E' in questi ultimi che possono essersi verificate delle avanzate glaciali.
Questa scala cronologica ha una validità globale e si basa essenzialmente sulla variabilità del rapporto degli isotopi stabili dell'Ossigeno $^{16}O/^{18}O$ che sono presenti nei gusci composti da $CaCO_3$ degli organismi marini, ad esempio i foraminiferi. Tale metodo è un indicatore indiretto della passata temperatura del pianeta e quindi ci fornisce dati sul paleoclima.

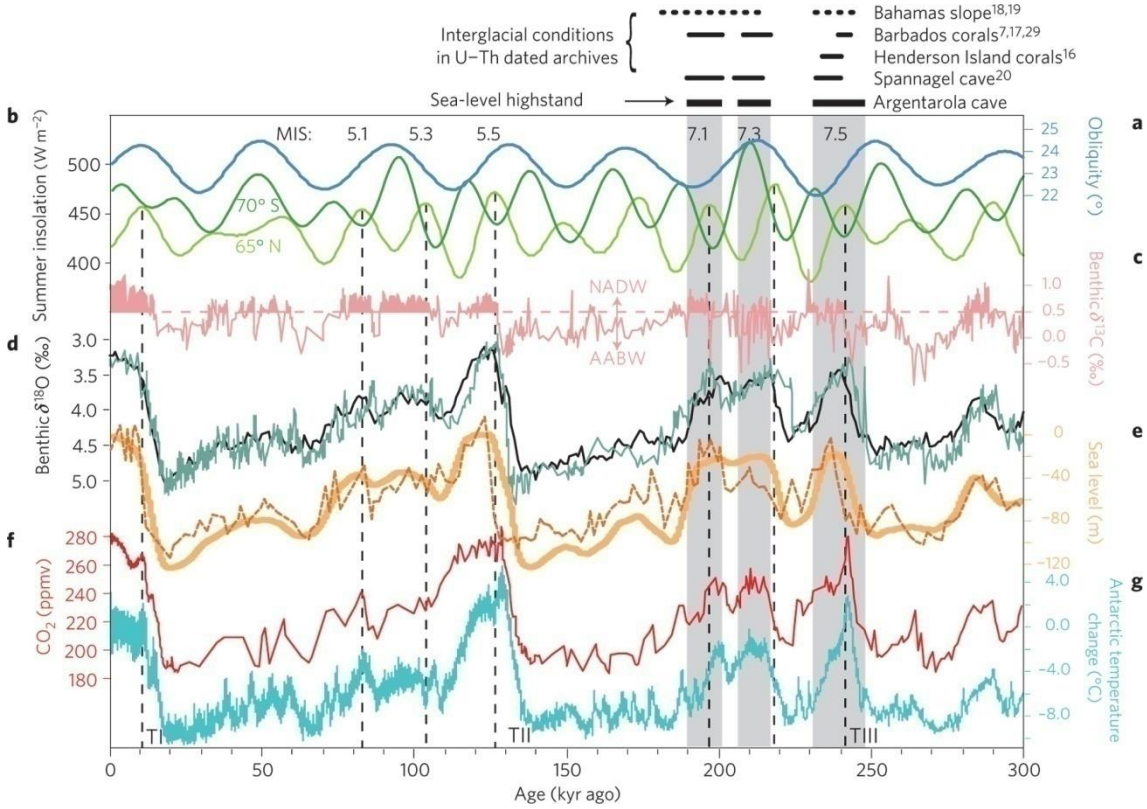


Fig. 3.7 Ricostruzione della curva eustatica e del clima dal MIS 7 ad oggi (Dutton et al., 2009). Legenda: a) obliquità (°); b) insolazione solare (Wm^{-2}); c) $\delta^{13}C$ (%)su foraminiferi bentonici d) $\delta^{18}O$(%) su foraminiferi bentonici e) variazione del livello marino (m); f) variazione CO_2 (ppmv) g) Variazione della temperatura Antartica (°C).

La più antica unità litostratigrafica intercettata dai sondaggi geognostici corrisponde ai depositi della penultima glaciazione, quando i ghiacciai alpini raggiunsero la pianura, alimentando i corsi d'acqua fluvioglaciali, in una situazione simile a quella del LGM. In quel momento si ebbe un'importante fase sedimentaria nella pianura, con deposizione di litofacies nettamente differenziate e conseguente formazione dei megafan alluvionali.

A valle della linea delle risorgive i depositi sono formati da alternanze di limi e limi argillosi, insieme a sottili canali di limi sabbiosi e sabbie, che hanno uno spessore medio inferiore a 1 o 2 m; abbastanza comuni sono alcuni sottili strati di torbe e di livelli organici, che le analisi polliniche hanno dimostrato essersi deposti in un clima temperato e secco (Müllenders et al., 1996; Pini et al., 2009). Questi depositi sono stati interpretati come sequenze fluviali correlate a fiumi a letto sabbioso di tipologia braided che hanno uno spessore compreso fra i 20 e i 30 m. La parte superiore di questi sedimenti si trova ad una profondità di 60-70 m a est di Venezia, mentre hanno una profondità di 80-100 m a sud ovest (Fontana et al., 2010).

Questi sedimenti si trovano fra due unità interglaciali, rispettivamente il MIS 5.5 e il MIS 7; si può stimare il culmine della penultima glaciazione nell'estremità meridionale delle Alpi a 148±1ka nel MIS 6 (Pini et al., 2009).

Alla fine del MIS 6, verosimilmente fra i 148.000 e i 135.000 anni fa (Pini et al., 2009), si raggiunsero condizioni climatiche pleniglaciali in cui i ghiacciai alpini fuoriuscirono

dalle valli alpine, cosicché la pianura subì una notevole sedimentazione, paragonabile a quella verificatesi nel LGM (Fontana et al., 2010).
Questi depositi correlati con le morene più esterne dell'anfiteatro morenico del Tagliamento, sono denominati sintema Plaino (Monegato et al., 2007; Zanferrari et al., 2008). Anche il sistema morenico dell'Isonzo è riferito alla penultima glaciazione (Bavec et al., 2004), come anche l'anfiteatro morenico di Vittorio Veneto, relativo al bacino del Piave che è caratterizzato da depositi più antichi della penultima glaciazione (Venzo et al., 1977;ARPAV 2008).

3.2 Tirreniano

Il piano Tirreniano del Quaternario fu proposto da Arturo Issel nel 1914 è stato usato per indicare l'ultimo interglaciale che per individuare il Pleistocene Superiore nell'area del Mediterraneo (Cita et al., 2005).

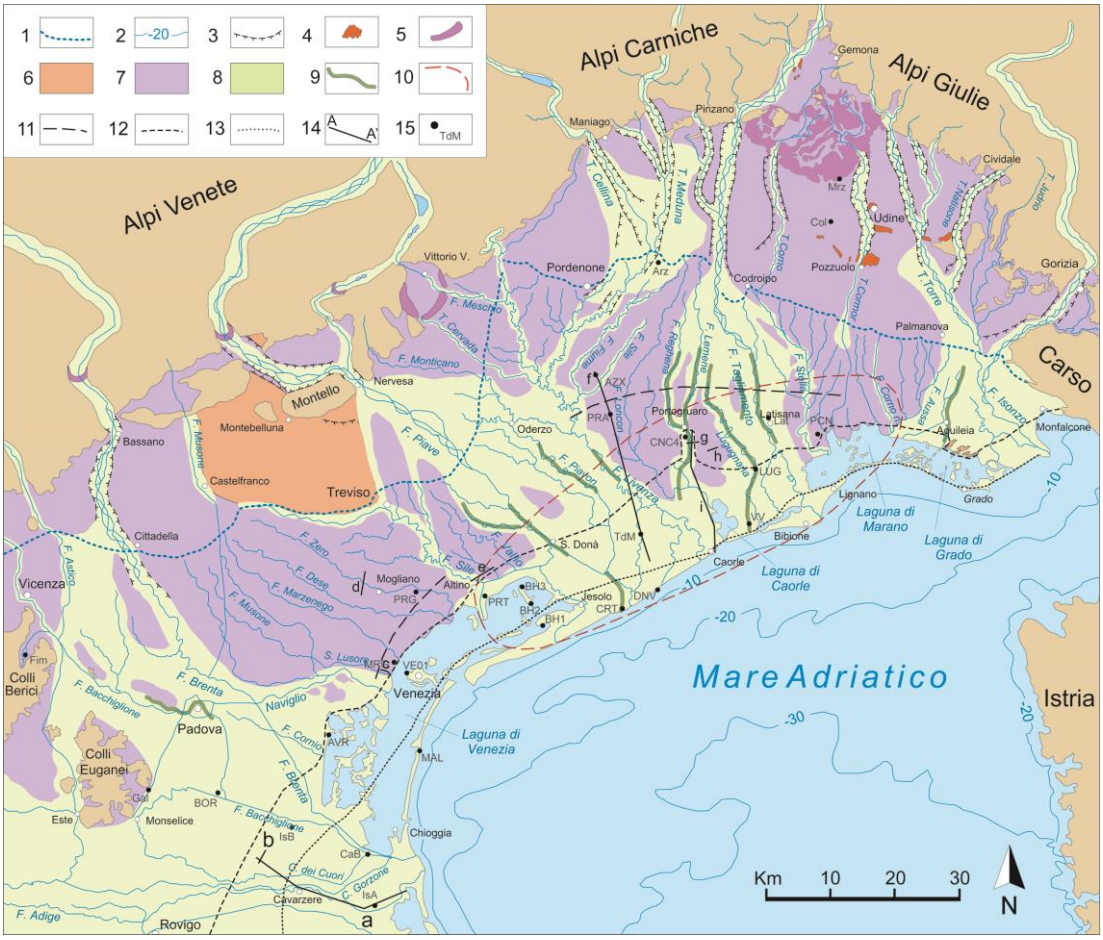


Fig. 3.8 Età delle superfici nella pianura veneto-friulana (modificato da Fontana et al., 2008). Legenda: 1) limite superiore delle risorgive; 2) isobate; 3) orli di terrazzo fluviale; 4) terrazzo tettonico; 5) apparati morenici del LGM; 6) sedimenti pre-LGM; 7) sedimenti LGM; 8) sedimenti post-LGM; 9) tracce di incisioni fluviali post-LGM; 10) area con potenti orizzonti torbosi del MIS 3; 11) limite lagunare interno nel Tirreniano; 12) massimo limite lagunare interno olocenico; 13) limite più interno dei depositi costieri olocenici; 14) traccia della sezione riportata in seguito; 15) carotaggi.

In questa tesi il termine Tirreniano è stato usato come sinonimo dell'ultimo interglaciale, coincidente quindi anche con il MIS 5.5 o MIS 5e (Ferranti et al., 2006). Esso durò tra 132.000 e 116.000 anni BP e corrisponde alla fase di highstand marino durante cui il Mediterraneo raggiunse un'altezza massima di circa +6±3 m sopra il livello attuale, attorno ai 125.000 anni fa (Ferranti et al., 2006; Antonioli et al., 2009).
Il termine Eemiano (126.000-105.000 BP) dal un punto di vista cronologico è parzialmente corrispondente al Tirreniano, ma è durato oltre la fine di quest'ultimo. L'Eemiano è stato definito in base all'analisi palinologica condotta su sedimenti continentali campionati da un carotaggio presso l'aeroporto di Amsterdam (Cita et al., 2005), ma viene spesso comunemente utilizzato anche come termine cronostratigrafico per correlare depositi di mare profondo ed è largamente usato dalla comunità scientifica del nord Europa. Da notare che spesso in molti lavori si ha confusione tra Eemiano e Tirreniano e le due parole sono usate anche come sinonimi.

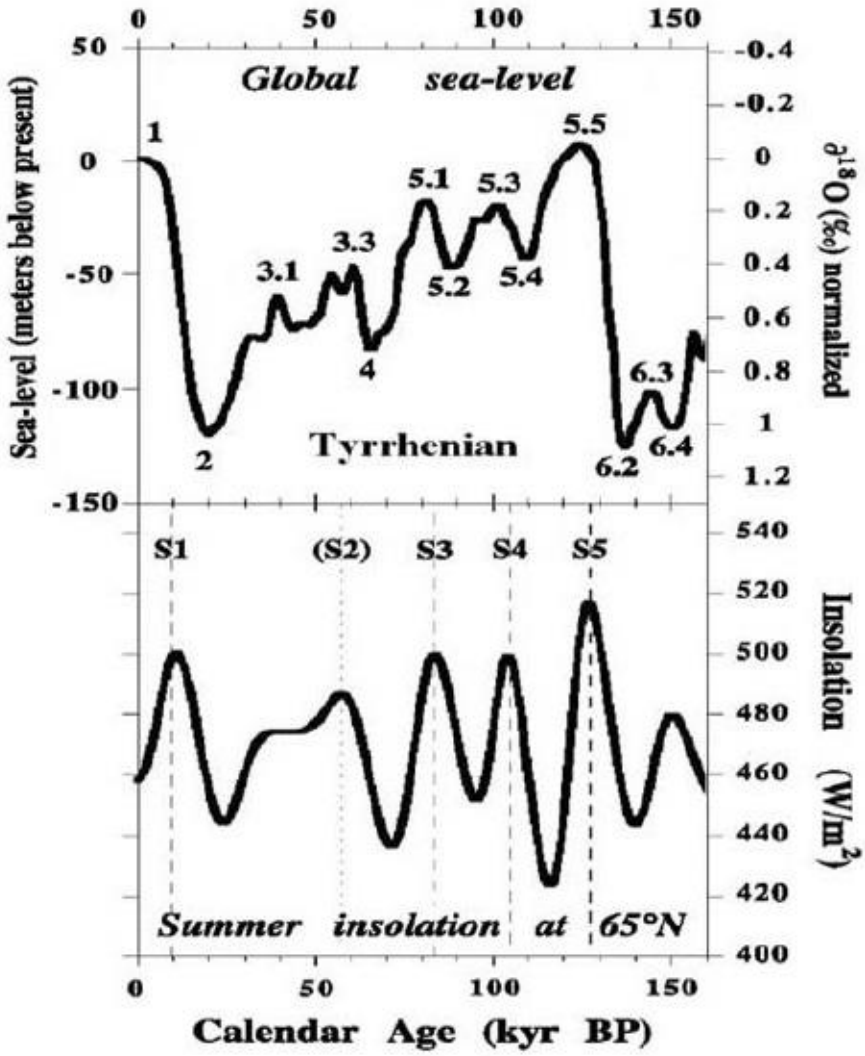


Fig. 3.9 Diagramma delle relazioni cronologiche tra i cinque recenti eventi di sapropel (S1-S5), il livello globale del livello marino e la variazione dell'insolazione dominata dai cicli di precessione orbitale con periodicità di 22.000 anni (Sironi Cita et al., 2005).

Sopra ai sedimenti riferiti alla penultima glaciazione, i sondaggi geognostici noti nella pianura veneto-friulana hanno individuato depositi di ambiente costiero e lagunare/deltizio, corrispondenti alla porzione iniziale del MIS 5, cioè proprio al Tirreniano (Fontana et al., 2010). La trasgressione Tirreniana arrivò nella fase di highstand alla paleo-altitudine della pianura veneta almeno 3.000 anni dopo l'inizio del periodo interglaciale, datato a 132,5 ±2 ka BP (Drysdale et al., 2009); e corrisponderebbe all'evento di espansione della foresta registrato nelle sequenze di pollini(Shackleton et al., 2003; Pini et al., 2009).
A volte la superficie trasgressiva che separa l'unità deposizionale del MIS 6 da quella del MIS 5.5 coincide con un troncamento importante relativo ad una superficie di ravinement.
Considerando la profondità dei depositi lagunari o deltizi del MIS 5, il livello del mare durante il MIS 5a e 5c ed i differenti tassi di subsidenza che si sono avuti lungo la pianura costiera veneto-friulana, è probabile che i depositi paralici del MIS 5 appartengano quasi del tutto al Tirreniano (Fontana et al., 2010).
La fine delTirreniano viene fatta coincidere con un periodo freddo (MIS 5.4), che in area alpina corrisponde all'inizio del periodo Würmiano (116.000 anni fa).

3.3 Würm Inferiore e Medio

Il termine Würm attualmente è poco utilizzato nella letteratura internazionale e nazionale per i problemi di divisione cronologica che ha innescato e la difficoltà di effettuare correlazioni a livello globale; tuttavia esso è stato definito in maniera formale per l'area circumalpina con durata tra l'inizio del MIS 5.4 e il tardoglaciale (116.000 e 11.700 anni fa); (Chaline & Jertz, 1984; Orombelli et al., 2005). Dopo il Tirreniano ci sono stati due substage più freddi, MIS 5.4 (116.000-108.000 anni fa) e MIS 5.2 (93.000-84.000 anni fa), ai quali si sono alternati rispettivamente due substage più caldi il MIS 5.3 (108.000-93.000 anni fa) e il MIS 5.1 (84.000-74.000 anni fa) (Martinson et al., 1987). Nei primi due il livello marino si abbassò fino a circa -50 m sotto l'attuale, mentre negli ultimi si verificarono due highstand in cui il livello eustatico risalì fino circa a -20 m s.l.m. (Antonioli et al., 2004).
Il periodo Würmiano si divide in WürmInferiore(116.000-74.000 anni fa), Würm Medio (74.000-29.000 anni fa) e Würm Superiore (29.000-10.500 anni fa).
I depositi appartenenti a parte del Würm Inferiore e del Würm Medio si trovano fra il top dell'alternanza di sedimenti marini e continentali del Tirreniano e la base del LGM e hanno uno spessore di circa 20 m nell'area di Venezia, che decresce a meno di 10 m nella pianura friulana. Tra l'area veneziana e la bassa friulana molti sondaggi mostrano uno hiatus stratigrafico che comprende gran parte del Würm Inferiore e Medio. In area friulana le analisi polliniche disponibili per alcuni sondaggi hanno messo in luce la presenza di un ambiente di foresta temperata durante la seconda parte del Würm medio (Pini et al., 2009; Fontana et al., 2012), quando si verificò la fase di highstand marino del MIS 3 e il livello eustatico era circa -60 m sotto quello attuale (Antonioli et al.,

2004). A est della laguna di Venezia, in vari sondaggi sono stati incontrati strati di torbe che raggiungono lo spessore di 2-3 m e il cui top è stato datato con il radiocarbonio attorno a 30.000 anni cal. BP (Fontana et al., 2010; Fig. 3.10).

3.4 LGM

Con il termine LGM si identifica il Last Glacial Maximum, ossia in italiano l'Ultimo Massimo Glaciale, che si verificò fra i 30.000 e i 19.000 anni cal BP e durante cui il livello eustatico stazionò oltre -120 m sotto quello odierno (Clark et al., 2009). La pianura friulana continuava quindi anche nell'attuale piattaforma adriatica e si fondeva con quelle veneta e padana. La parte emersa dell'alto Adriatico era quindi più lunga di oltre 400 km. Il bassissimo gradiente topografico delle aree emerse riuscì a contrastare l'abbassamento eustatico del livello marino, impedendo la forte erosione solitamente caratteristica dei stazionamenti bassi prolungati e permettendo l'impostarsi dei sedimenti provenienti da monte (Fontana, 2006).
Solo con la fine dell'ultima glaciazione il livello marino tornò a salire e circa 6.000 anni fa, con l'inizio di un nuovo highstand, si riformarono le aree lagunari che tuttora possiamo osservare.
Nella pianura friulana le superfici più antiche sono databili al Pleistocene Superiore e più precisamente al LGM (Last Glacial Maximum); solo in corrispondenza dei terrazzi tettonici del Medio Friuli affiorano superfici precedenti al LGM (Fontana, 2006). Ad un'età pre-LGM sono stati attribuiti da vari autori anche i cordoni sabbiosi di Belvedere e di San Marco di Aquileia (Marocco, 1991b; 1994;).

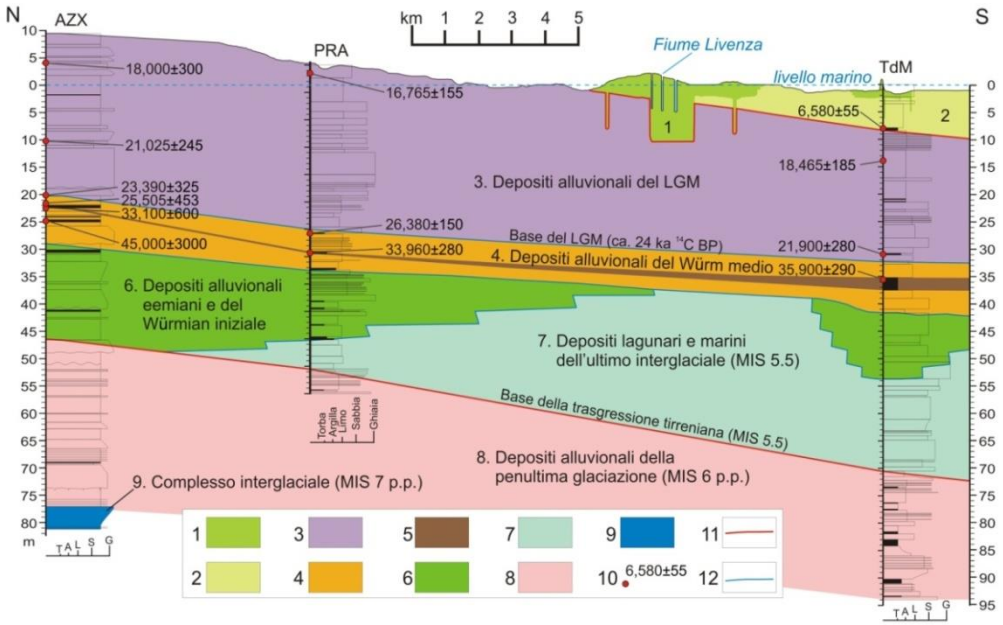


Fig. 3.10 Sezione stratigrafica tra i sondaggi Azzano Decimo-Torre di Mosto (Fontana et al., 2010). Legenda: 1) depositi alluvionali post-LGM; 2) depositi lagunari post-LGM; 3) depositi alluvionali LGM; 4) depositi alluvionali del Würm iniziale; 7) depositi dell'ultimo interglaciale (MIS 5.5); 8) depositi alluvionali della penultima glaciazione; 9) depostiti marini interglaciale (parte finale del MIS7); 10) datazioni radiocarboniche non calibrate; 11) superficie trasgressiva; 12) limite stratigrafico.

Tutta la pianura veneto-friulana è influenzata in modo particolare dall'Ultimo Massimo Glaciale che comprende, in un periodo più freddo dell'attuale, sia la fase di avanzamento dei ghiacciai alpini, fase pleniglaciale, sia il ritiro dei ghiacciai, fase cataglaciale. Con l'avanzamento dei ghiacciai ci fu in contemporanea un abbassamento del livello marino molto importante (Fontana, 2012). I depositi dei sedimenti del LGM arrivano ad una potenza che varia fra i 20 e i 35 m. Con la prima fase pleniglaciale, abbiamo l'importante differenziazione fra alta e bassa pianura ed è proprio in questo periodo che i megafan si delineano è acquisiscono la forma e le dimensioni che ora si possono osservare (Fontana, 2012).

Il ghiacciaio del Tagliamento nel periodo pleniglaciale trasportava verso la pianura notevoli quantità di detriti. Il materiale cosi accumulato alla fronte del ghiacciaio costruì l'anfiteatro morenico del Tagliamento, le cui cerchie hanno quindi un'età generalmente compresa tra 24.000 e i 17.000anni cal BP.

Le acque di fusione del ghiacciaio alimentavano varie distinte correnti fluvioglaciali raggruppabili in tre direzioni principali: dal margine occidentale del fronte del ghiacciaio nascevano due scaricatori, uno coincidente con l'attuale Tagliamento, tra Pinzano e il Monte Ragogna, l'altro nei pressi di San Daniele, in corrispondenza dell'attuale Corno di San Daniele. Dal settore centrale scaturivano tre principali correnti di disgelo di limitata entità. Infine, dal settore orientale due grandi corsi d'acqua scendevano in corrispondenza del torrente Cormor e del Torre (Comel, 1958).

Le correnti alimentate dalle acque di fusione del ghiacciaio tilaventino formarono dei conoidi di deiezione che complessivamente costituirono il sandur glaciale e corrispondono all'attuale alta pianura ghiaiosa; essa è caratterizzata da una notevole omogeneità stratigrafica data dalle alternanze di ghiaie e ghiaie sabbiose (Comel, 1958; Zanferrari et al., 2005). Nella bassa pianura, invece, la presenza di sedimenti fini e di numerosi orizzonti organici ha generato una stratigrafia più variegata, con la possibilità di riconoscere differenti unità sedimentarie anche all'interno dei depositi di età glaciale (Fontana, 2006).

La differenziazione tessiturale delineata nella fase pleniglaciale fu quella che distinse l'alta e la bassa pianura; infatti, i depositi più grossolani furono deposti al di sopra del limite inferiore della linea delle risorgive mentre al di sotto di essa si trovano depositi progressivamente più fini limoso-argillosi. I megafan dei principali corsi d'acqua andavano oltre all'attuale linea costiera, ma ora sono poco visibili perché rimodellati dal mare.

Dalle analisi eseguite sulle sequenze stratigrafiche, si è ipotizzata l'esistenza di alvei di tipologia braided che nella parte più distale della bassa pianura diventavano monucursali. Questi alvei erano sabbiosi e ciò differisce dagli attuali alvei che sono ghiaiosi nel loro tratto di tipologia braided.

In bassa pianura, nelle sequenze pleniglaciali si trovano frequenti livelli torbosi e limosi-organici di spessore pluricentimetrico, con una continuità laterale che può raggiungere vari chilometri (Bondesan et al., 2002a, 2002b; Miola et al., 2006). La presenza delle torbe testimonia una fase di stasi della deposizione in alcune aree della

bassa pianura friulana, dove condizioni di bassa temperatura e di falde freatiche sospese consentono un accumulo di materia vegetale sulla superficie; l'assenza di sedimentazione e la produzione di torbe è spiegabile con la dinamica dei megafan giacché essi non sono attivi contemporaneamente su tutta la loro superficie. L'età degli orizzonti organici così deposti, sono stati datati in un periodo fra i 26.000-17.500 anni calBP e più comunemente tra i 24.000-19.000anni cal BP (Fontana, 2006).
Quest'ultimo periodo corrisponde all'acme LGM e le analisi polliniche condotte su numerosi campioni datati evidenziano flore tipiche di clima freddo e secco compatibili con ambienti di steppa (Marocco, 1991a; Bondesan et al., 2002b, 2002c; Miola et al., 2003, 2006).
In base alle ricerche di Fontana (2006),questi depositi torbosi risalenti all'acme del LGM sono segnalati a profondità diverse: all'Isola di Porto Buso (Marocco, 1989), Aquileia (Marocco, 1991a) Bevazzana di Lignano e Bibione (Marocco, 1988; Giovannelli et al., 1989), a Case Miliana di Ariis (Feruglio, 1925), Case Palazzetto e Bonifica Marzotto di Portogruaro (Lenardon et al., 2000), Pravisdomini (Bondesan et al., 2002a). Altri studi hanno permesso di individuare altri strati organici presso l'Isola Augusta di Palazzolo (AUG1 e 2), Bosco Bando di Precenicco (PRE1), Titano di Precenicco (TIT1, 2 e 4), Bonifica di Muzzana (TUR1 e 2), Malisana scavo SNAM, Modeano (BJA1 e PAL1), Driolassa di Teor (DRI2 e 3), Procenia (GBW1), Summaga di Portogruaro (VE770), Belfiore di Portogruaro, Concordia Sagittaria (S1, S2 e S4), Latisana (ACQ1).

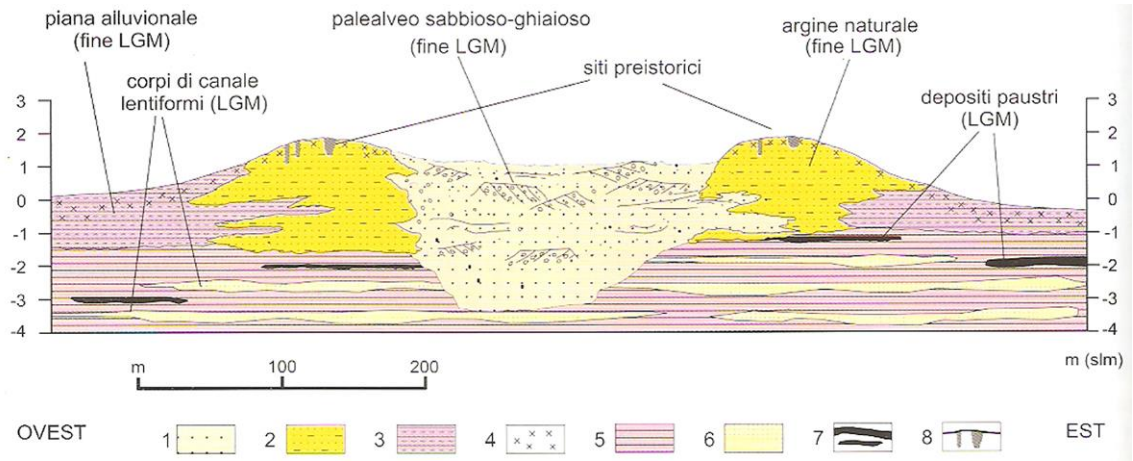


Fig. 3.11 Sezione stratigrafica schematica di un dosso del lobo cataglaciale del Megafan del Cormor (22.500-19.000 cal BP circa); (Fontana, 2006). Legenda: 1) sabbie e sabbie ghiaiose di canale; 2) sabbio-limose di argine naturale; 3) limi-argillosi di pianura alluvionale; 4) concrezioni carbonatiche; 5) argille-limose della piana alluvionale pleniglaciale (LGM); 6) sabbie fini e medie di canale pleniglaciale; 7) torbe e limi organici pleniglaciali; 8) strutture preistoriche.

Nel progetto CARG sia veneto che friulano la fase pleniglaciale del LGM è definito un subsintema; in Veneto e in Friuli Venezia Giulia è denominato Sintema di Canodusso.
Nella successiva fase cataglaciale del LGM, che va da 22.500 a 19.000 anni fa, si verifica il progressivo ritiro dei ghiacciai e il corrispettivo innalzamento relativo del

livello marino. Il ritiro dei ghiacciai portò ad un minore afflusso di sedimenti in pianura con la conseguente disattivazione progressiva dei megafan.
Nonostante il periodo cataglaciale sia identificabile come la prima fase di deglaciazione alpina, ci sono stati eventi limitati di avanzamento dei ghiacciai più importanti che hanno reso gli anfiteatri molto complessi, creando delle morene retrogradanti.
L'alta pianura veneto-friulana fu parzialmente terrazzata (Fontana, 2006) e questo terrazzamento confinò le acque fluviali concentrandone il flusso e aumentando la capacità di trasporto, consentendo così a valle la formazione di dossi fluviali caratterizzati da sabbie-ghiaiose e ghiaie; ciò contrasta dunque con il periodo pleniglaciale precedente, poiché i sedimenti più grossolani non superavano la linea delle risorgive.
I momenti più significativi della formazione dei suoli si sono verificati durante l'Olocene interessando in egual modo sia i depositi pleniglaciali che quelli cataglaciali esposti in superficie. Importanti sono state l'azione svolta dalla copertura forestale e l'effetto di alcune fasi pedo-climatiche, ad esempio quella verificatasi nel periodo Atlantico, caratterizzato da clima caldo umido con stagioni contrastate (Cremaschi, 1990).La superficialità della falda freatica ha contrastato la pedogenesi anche nelle aree dei dossi fluviali. Tuttavia nella parte sommitale degli argini naturali ci sono dei chiari indizi di una lunga evoluzione pedogenetica, simile talvolta a quella dell'alta pianura. Allontanandosi dagli argini naturali, dove i sedimenti divengono più limosi e la superficie è meno elevata, la presenza della falda e la minor permeabilità dei depositi hanno creato degli orizzonti di concrezioni carbonatiche. Inizialmente questi orizzonti si trovavano a una profondità tra i 60 e i 120 cm, mentre attualmente si trovano inglobate negli strati più superficiali per il rimaneggiamento dovuto all'aratura dei campi coltivati (Fontana, 2006).
Attualmente i sistemi fluviali di Tagliamento, Torre e Isonzo sono gli unici ancora attivi in pianura friulana, mentre i megafan del Corno e del Cormor si sono disattivati alla fine della fase cataglaciale del LGM. Il megafan del Cormor forse si è disattivato più tardi di quello del Corno, ma comunque, sia questi che il lobo cataglaciale del megafan del Tagliamento sembrano essersi disattivati contemporaneamente; questo indica una dipendenza diretta di questi megafan con l'evoluzione del ghiacciaio tilaventino (Fontana, 2006).
Attualmente la tipologia degli alvei della bassa pianura friulana è braided fino al limite inferiore delle risorgive, mentre nell'ultimo tratto in prossimità della costa sono monocursali, con la presenza di dossi fluvialiche vanno ad impostarsi sui depositi pleniglaciali.
Il limite fra depositi pleniglaciali e cataglaciali in alta pianura è identificabile da un'importante incisione fluviale, mentre nella bassa pianura l'unica evidenza è riconoscibile nelle discontinuità erosive alla base dei dossi ghiaiosi.
In aree dove la sedimentazione è stata limitata o assente anche per brevi periodi di tempo si ebbe l'accumulo di fini livelli organici, come riscontrato anche nei depositi pleniglaciali.

Interessante è l'osservazione fatta da alcuni autori (Avigliano et al., 2002a, 2002b) che sostengono che sia il conoide di Meduna sia il conoide di Cellina sono stati interessati da un'estesa e continua aggradazione anche nel periodo Tardoglaciale, mentre il terrazzamento dei due conoidi è avvenuto a partire dal Olocene.
Il periodo cataglaciale nel progetto CARG è definito nelle aree friulane e venete come subsintema di Remanzacco.

3.5 Post-LGM

Nel post LGM i ghiacciai alpini abbandonarono definitivamente tutte le aree in precedenza occupate e si ritirarono nelle alte valli alpine; cominciò così una nuova dinamica fluviale in pianura. Tra le fasce di meandro dei megafan alluvionali spesso affiorano tratti di pianura pleniglaciale o cataglaciale; ciò è dovuto alle diverse fasi di avulsione dei corsi d'acqua.
Nel LGM l'evoluzione della bassa pianura friulana viene controllata da sistemi fluvioglaciali e fluviali, mentre nel post-LGM, i soggetti coinvolti nell'evoluzione della pianura sonoi sistemi fluviali, i fiumi di risorgiva, il mare e infine negli ultimi millenni anche l'uomo.
Circa 17.000 anni fa si verifica un miglioramento climatico che oltre a far ritirare i ghiacciai favorì un nuovo innalzamento eustatico, imputabile principalmente allo scioglimento della calotta artica e degli inlandsis nord europeo e groenlandese; fra i 7.000 e i 6.000 anni fa il livello del mare era circa -10 metri rispetto all'attuale. Un simile innalzamento relativo marino nel nord Adriatico non è solo imputabile allo scioglimento dei ghiacciai sopra citati ma è più che altro un insieme di fattori come: il tasso di subsidenza regionale, le deformazioni tettoniche e le variazioni climatiche che modificarono più volte il tasso di sedimentazione in pianura. Anche la morfologia delle coste ha giocato un ruolo fondamentale; infatti, in alcune aree il mare raggiunse più rapidamente il livello circa attuale, mentre in altre il fenomeno fu più lento.
Nella pianura veneto-friulana le aree in cui la superficie pleistocenica è affiorante fino al margine lagunare hanno subito una trasgressione marina passiva. Invece, nelle aree in cui sfociavano i corsi d'acqua durante l'Olocene, la situazione si presenta più complessa in quanto si possono riconoscere cicli trasgressivi-regressivi (Fontana, 2006).
La formazione della prima laguna sembrerebbe essere documentata fra i 7000 e i 6000 anni fa. Nei sondaggi effettuati dal progetto CARG fra il fiume Piave e il fiume Tagliamento si rinvengono sedimenti lagunari al di sopra della pianura pleistocenica ad una profondità compresa fra i 7 e i 9 m e datati attorno al 5000 a.C. L'assetto cronologico della pianura veneto-friulana è piuttosto omogeneo con sedimenti lagunari anche nell'attuale laguna di Marano, nella laguna di Venezia e nei pressi di Latisana. Si discosta da questo quadro solo la laguna di Grado che si formò solo in epoca post romana; ciò è dovuto probabilmente alla posizione più occidentale del fiume Isonzo che con il suo apporto di sedimenti contrastò la subsidenza.

Riguardo l'assetto idrogeologico della bassa pianura bisogna sottolineare l'importanza delle risorgive: in particolare il limite superiore individuato dalla linea d'intersezione della superficie freatica con quella del terreno. Il limite inferiore, invece, è identificato dall'affioramento più a monte dei corpi argillosi impermeabili. Quest'ultimo è da considerare relativamente fisso, varia verso il basso eventualmente per l'incisione delle risorgive esercitata nello strato impermeabile, mentre il primo può variare in modo più consistente dato che risente del livello piezometrico della falda.
Nelle aree della pianura dove è esposta la superficie pleistocenica, non interessata da sedimentazione, i processi di pedogenesi hanno potuto agire formando suoli con caratteri ben evoluti, caratterizzati in bassa pianura da orizzonti di riprecipitazione di carbonato di calcio che corrispondono al cosiddetto "caranto".
Nella bassa pianura veneto-friulana la dinamica fluviale cambiò nuovamente fra il secondo e il primo millennio a.C.; infatti, si passa da una fase erosiva a una fase di sedimentazione estesa su ampi territori; questa è correlabile alla formazione di dossi fluviali ampi e rilevati. Si presume che questa fase di deposizione di sedimenti abbia avuto inizio prima nel settore del Brenta, nel terzo millennio a.C., e poi successivamente in quello del Piave e del Tagliamento. Questi dossi fluviali recenti si distinguono dai dossi pleistocenici sia per la maggiore ampiezza, sia per la maggior elevazione rispetto alla piana circostante.

3.6 Sistemi alluvionali della pianura friulana

3.6.1 Megafan del torrente Cormor

L'area dei terreni che sono compresi fra il fiume Aussa e Stella rappresentano il lobo cataglaciale del megafan del Cormor. Questo è stato uno dei principali scaricatori di sedimenti del ghiacciaio del Tagliamento e ha contribuito a formare l'attuale zona centrale della pianura friulana.
Prima della canalizzazione avvenuta fra il 1953 e il 1965, il fiume Cormor per tutto l'Olocene è stato un corso d'acqua torrentizio.
I limiti del lobo cataglaciale sono coincidenti con quello del fiume Corno di Nogaro a est, con quello del fiume Torsa e dello Stella a ovest.
Nella bassa pianura l'unità del Cormor si estende per un totale di circa 250 Km^2. Sul megafan il gradiente topografico è omogeneo in tutta l'alta pianura con valori fra il 4,6 e il 5%. In questo tratto i paleoalvei sono di tipo braided e i depositi sono ghiaiosi e ghiaiosi-sabbiosi con alcune lenti di argille. Nell'area delle risorgive la morfologia è di difficile interpretazione, sia perché esiste un'alta variabilità granulometrica sia perché ha subito una minima evoluzione. Dal limite inferiore delle risorgive alla costa gli alvei divengono monocursali e in questo tratto si sviluppano i dossi fluviali. Il passaggio granulometrico è evidente giacché si depositano sedimenti più fini limosi e torbosi e anche la morfologia cambia procedendo verso valle passando da un letto a isole fluviali

e poi wandering. I dossi fluviali hanno una larghezza compresa fra i 200 e i 300 m con un'inclinazione che varia fra lo 0,8 e 1,2%.
L'attività del torrente Cormor durante l'Olocene è stata molto limitata avendo interessato la zona prossima all'alveo solo nelle aree delle risorgive. Attualmente l'assetto morfologico è stato pesantemente modificato da interventi antropici per prolungare il percorso del Cormor fino alla laguna.

3.6.2 Conoide del torrente del Corno di San Daniele

Il conoide del Corno di San Daniele si forma solo durante il periodo di deglaziazione; infatti, è presente solo al di sopra della linea delle risorgive ed è attualmente sepolto sotto i sedimenti più recenti del Tagliamento a ovest, mentre a est è coperto dai sedimenti del megafan del Cormor.
I dati riguardanti la prosecuzione del conoide del Corno sono frammentari e non possono dare un'assoluta certezza sulle forme individuate (Fontana, 2006).

3.6.3 Megafan del fiume Tagliamento

Il megafan del Tagliamento è stato attivo anche nel post-LGM erodendo sia i depositi pleniglaciali sia i depositi cataglaciali. Sono affioranti alcuni terreni pleistocenici fra quelli olocenici che si caratterizzano per un elevato grado pedogenetico.
La fase di attività del lobo cataglaciale del megafan è compresa fra la fine dell'acme del LGM e l'inizio dell'incisione dei percorsi fluviali del Tagliamento.
Alcune datazioni effettuate poco a nord di Summaga di Portogruaro e di Belfiore di Portogruaro hanno dato età comprese in un intervallo di 19.700 e 17.600 cal BP; questi orizzonti torbosi sepolti sotto i dossi ghiaiosi sabbiosi segnano l'ultimo evento deposizionale del LGM.
Solo a partire da 17.000 anni calBP, il Tagliamento incominciò una vera ed importante fase erosiva; le incisioni a monte e valle quindi confinarono il flusso del corso d'acqua, che riuscì a trasportare ghiaie anche nella bassa pianura fino all'attuale linea di costa.
Negli ultimi 7.000 anni si è creato un lobo post-glaciale del megafan del Tagliamento delle dimensioni di circa 400 Km^2, circa il 60 % del volume che occupava nel LGM.
L'apice del lobo si individua lungo l'attuale fiume fra Rivis e Valvasone; verso est e fino a Rivignano i depositi post-LGM raggiungono la bassura in cui scorre il fiume Reghena e a sud di Portogruaro, lungo il corso del Lemene. Tra gli abitati di Casarsa e San Vito esistono inoltre alcuni rami fluviali di età tardoglaciale che arrivano fino alle località di Bannia di Fiume Veneto e a quelle di Taiedo e Chions.
Su questo lobo post-glaciale sono stati rintracciati più percorsi fluviali, generalmente non costituiti da un singolo canale fluviale ma da un gruppo di canali ora abbandonati ma che essendo coevi hanno gli stessi caratteri sedimentologici e morfometrici.

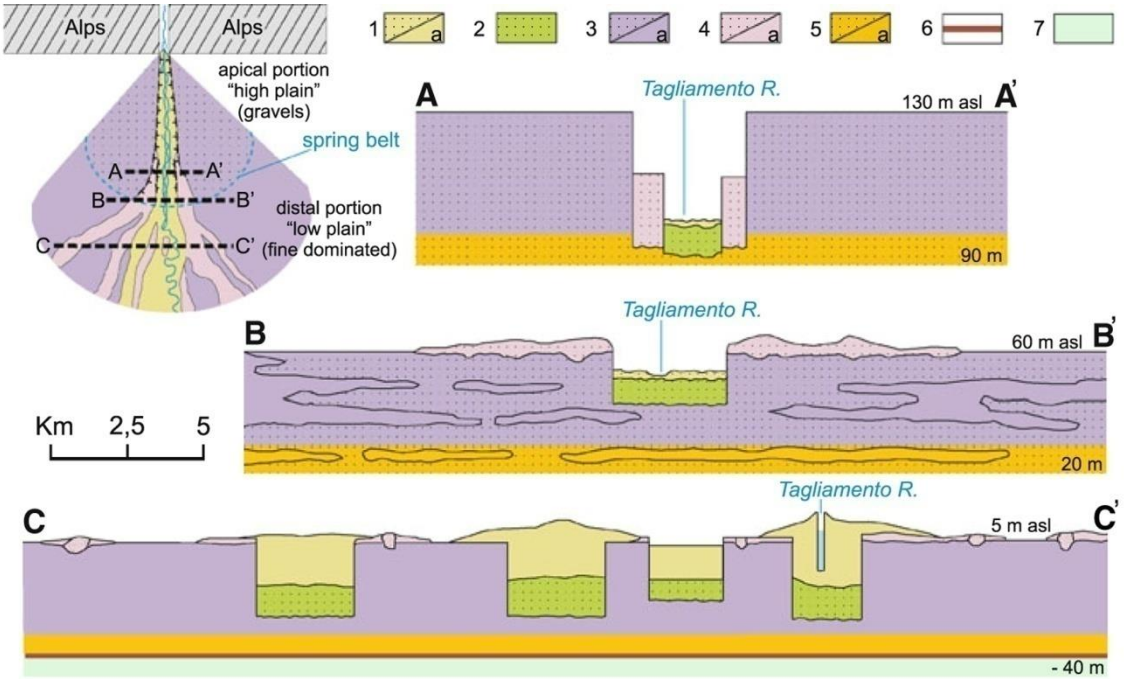


Fig. 3.12 Schema modellizzato del megafan telescopico del Tagliamento (modificato daFontana, 2006). Legenda: 1) ghiaie e sabbie medio e tardo oloceniche; 2) ghiaie e sabbie tardoglaciali e dell'Olocene iniziale; 3) ghiaie e sabbie acme LGM; 4) ghiaie e sabbie fine LGM; 5) ghiaie e sabbie del Würm medio; 6) torbe e sedimenti organici datati al top 30.000-35.000 anni ^{14}C BP; 7) depositi costieri e lagunari dell'ultimo interglaciale; a) sedimenti fini.

Nella nuova cartografia geologica di età post-LGM, appartengono al sintema del fiume Po, in particolare all'unità del Torcello, quando i depositi sono post romani e a quella di Malamocco se sono precedenti.

3.7 Rilievi sabbiosi di San Marco e Belvedere di Aquileia

In questo lavoro il sondaggio BLG1 permette di fare alcune considerazioni sull'origine e sull'età dei rilievi di Belvedere e di San Marco, situati nelle vicinanze di Aquileia.
Già nel passato alcuni autori, considerando la loro posizione alle spalle della laguna di Grado e la loro altezza rilevata rispetto alle aree circostanti, insieme alla loro evoluzione pedologica, hanno interpretato le dune come rilievi litorali connessi ad una paleolinea di riva posizionata verso l'attuale margine lagunare con direzione Est-Ovest (Marocco, 1991b).
La parte più meridionale dei territori su cui sorge Aquileia è contraddistinta da vaste aree, dove la quota è maggiore di un metro; l'estensione di tale perimetro va da Beligna alla laguna di Grado, circondata a sua volta da zone più depresse con profondità anche maggiori di quelle della laguna.
L'idrografia di tutto il territorio preso in esame è attualmente contraddistinta da fiumi di risorgiva che ad oggi si trovano arginati e rettificati.

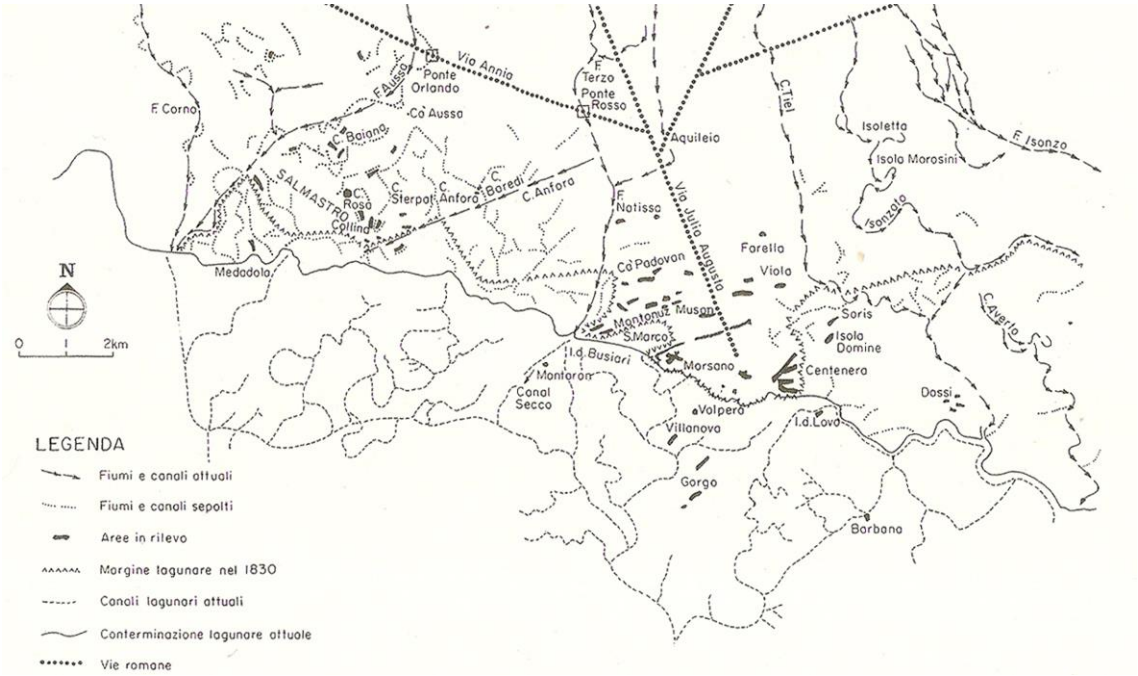


Fig. 3.13 Mappa dei principali rilievi e dei percorsi delle principali vie romane (Marocco, 1991b).

Il complesso morfologico di Salmastro e Ca' Anfora è costituito da una serie di dossi fluviali che si dipartono dal fiume di risorgiva Aussa. Tali dossi fluviali sono ben riconoscibili per le vaste aree sabbiose in rilievo sui terreni argillosi circostanti; questi rilievi raggiungono 1,5 m s.l.m., ad eccezione del rilievo di Collina, dove le altezze massime raggiungevano i 2,6 m s.l.m. Bisogna sottolineare che l'intervento antropico ci fa sottostimare l'altezza di questi rilievi, per le operazioni di bonifica iniziate nel periodo romano, considerate concluse solo nel periodo post-bellico del XX secolo e riprese per recenti interventi fondiari; quindi si devono considerare notevolmente inferiori a quelli originari (Marocco, 1991).

Il complesso morfologico di Belvedere e di San Marco individua una serie di rilievi, a maggior elevazione dei precedenti, che sono allineati generalmente in direzione NNE-SSW. Ogni rilievo si presenta con diramazioni secondarie che proseguono all'interno della laguna di Grado venendo a costituirne le principali isole lagunari.

L'insieme dei rilievi può essere distinto in diversi cordoni partendo da nord in direzione sud.

Un cordone di primo ordine, che è il più esteso, è costituito da una serie di rilievi rubefatti e a volte cementati che comunque hanno un'elevazione sempre maggiore di 2 m. Questi rilievi, ad eccezione del Montonuz, presentano un profilo asimmetrico con pendenze maggiori sul versante occidentale e minore sul lato orientale. I rilievi del secondo ordine si aggirano su quote di 4 m di altezza; il cordone di terzo ordine, invece, che comprende i rilievi di San Marco, ha elevazione di 10 m s.l.m. L'allineamento del quarto ordine che comprende i rilievi di Belvedere ha un'elevazione complessiva di circa 6 m. L'allineamento più esterno, definito di quinto ordine, ha altezze variabili che aumentano all'interno della laguna di Grado.

Il rilievo di San Marco presenta una forma a “gomito” (Marocco, 1991) con un asse principale fissato a 63° N e un asse secondario di 135° N; le pendenze maggiori sono sempre verso nord per il rilievo principale, mentre le pendenze sono verso la laguna per il rilievo secondario.

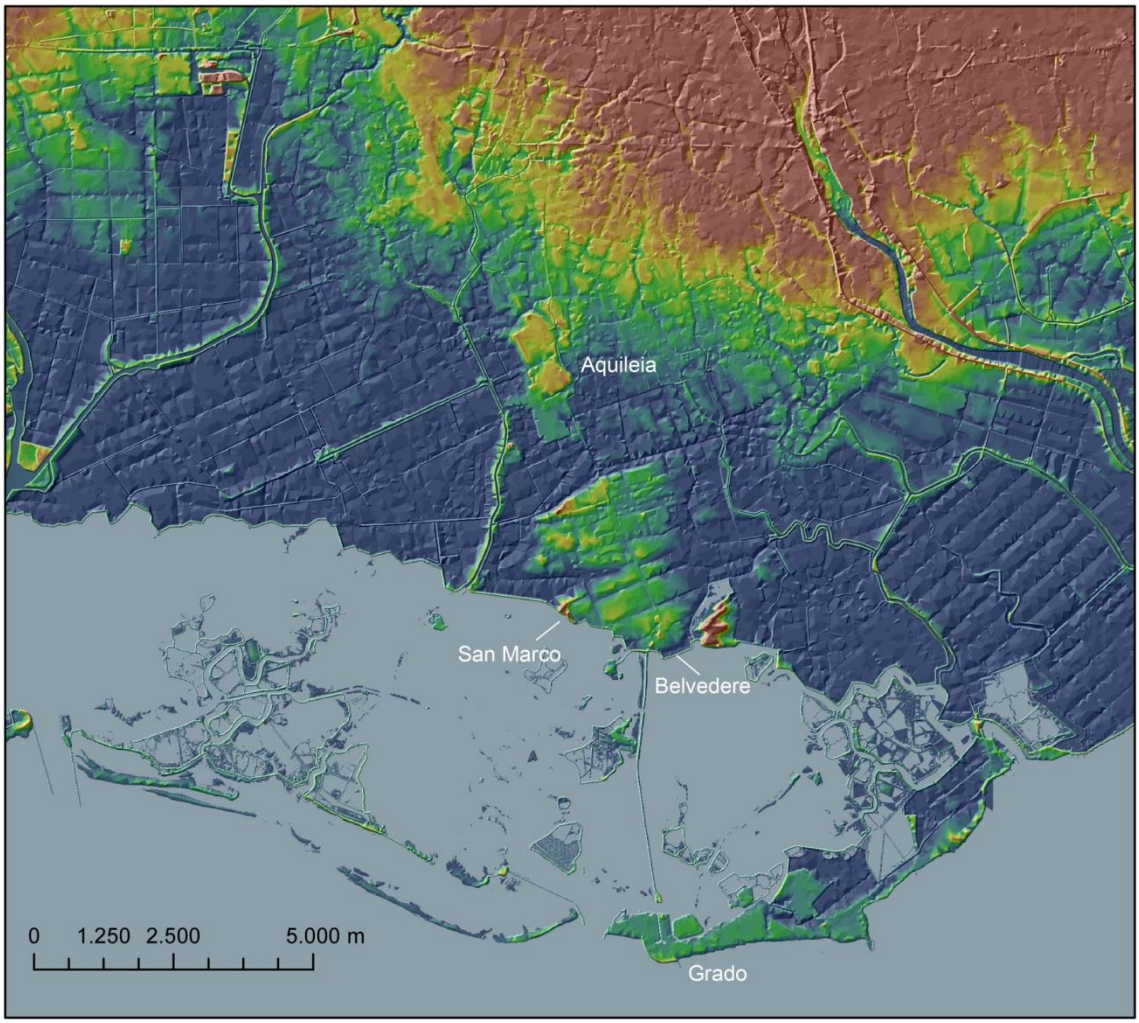


Fig. 3.14 Modello Digitale del Terreno della bassa pianura friulana orientale ottenuto dal TINITALY (Tarquini et al., 2007). La freccia indica gli alti di Belvedere San Marco.

Inizialmente Marocco non attribuì la stessa origine per le dune di Belvedere e San Marco alle dune di Salmastro e Ca’ Anfora che risultano di sicura origine fluviale. Tuttavia tutti gli elementi morfologici raccolti paiono escludere l’origine litorale delle dune di Belvedere e San Marco.

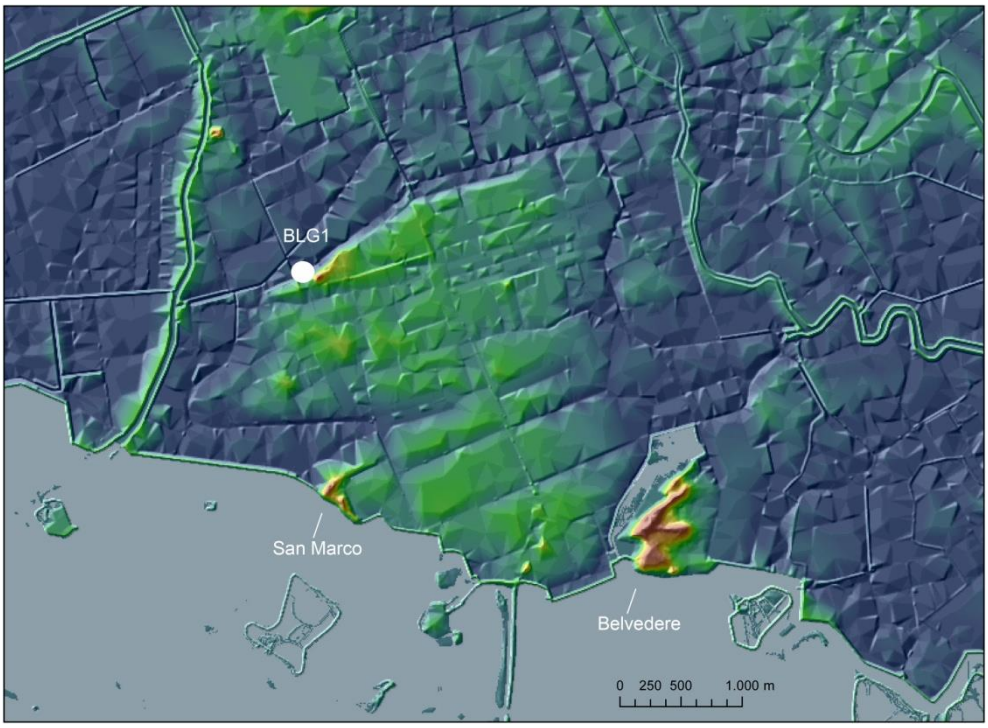


Fig. 3.15 Ingrandimento del Modello Digitale del Terreno con in evidenza i rilievi di Belvedere e San Marco; il pallino bianco indica il carotaggio BLG1.

Fig. 3.16 Fotografia della fine del XIX secolo di una cava di sabbia in località Beligna di Aquileia (da archivio Museo Archeologico Nazionale di Aquileia, Cossar, 2008). In primo piano un pozzo d'epoca romana; in secondo piano si noti la stratificazione inclinata delle sabbie.

Gli studi effettuati sui sedimenti dell'alto morfologico di San Marco mostrano sabbie prevalentemente calcaree con minima componente quarzosa. Queste hanno una granulometria medio-fine, classazione media, un colore 10 YR 7/3 e sono prive di frazione organica. L'analisi granulometrica evidenzia la forte componente sabbiosa (89,30%), con sabbia media che prevale su quella fine e grossa e con una leggera componente pelitica costituita totalmente da silt.
Questi studi mettono in risalto la diversità delle sabbie degli alti morfologici dell'area di Aquileia dai depositi sabbiosi del litorale dell'Alto Adriatico attuale. Questo porta a dedurre un'improbabile origine eolica per questi depositi; inoltre, i depositi litoranei si presentano in associazione con i foraminiferi, mentre le dune del territorio di Aquileia sono sterili.
Si sono eseguite anche delle analisi mineralogiche Tab. 3.1 e Tab. 3.2 (Marocco, 1994) per determinare la provenienza dei depositi dei rilievi di Belvedere e San Marco. Il risultato, per alcuni minerali, ha mostrato alcune minime variazioni percentuali comunque ritenute significative al fine di una discriminazione dei bacini fluviali di appartenenza.

Minerali	Collina	Ca' Padovan	San Marco	Centenera
Zircone	10,1	19,7	12,9	22
Orneblenda	9,4	1,8	7,5	9
Brookite	4,4	14,1	10,6	6,7
Rutilo	1,9	5,2	4,9	3,1
Anatasio				
Staurolite	3,1	1,1	0,9	1,6
Epidoto	13,8	6,7	8,4	7
Tormalina	1,2	1,1	2,6	2,3
Granato	32,8	39,9	40,8	29,9
Cloritoide			tr	
Corindone				
Picotite	0,6	3,7		
Titanite	1,9	0,4	1,3	0,8
Sillimanite				
Baritina				
Cianite				
Olivina				
CPX	20,2	4,5	9,3	13,3
OPX	0,6	1,8		2,7

Tab. 3.1 Percentuali dei minerali pesanti dei sedimenti dei rilievi di Aquileia (Marocco, 1994). Legenda: tr = Tracce; CPX = Clinopirosseno; (Augite, Titanaugite, Diopside); OPX = Ortopirosseno (Iperstene); Corindone: di provenienza antropica; Epidoto: Pistacite + Clinozoisite.

Minerali	Judrio			Torre			Isonzo				Natisone	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2
Zircone	24	13	15,1	19,1	12,5	8,5	28,2	66	54	29	16,3	21
Orneblenda	2,9	3,9	5	2,7	5	6,6	6,7	2,4	3,6	8,5	3,9	5,8
Brookite	4,9		4,2	2	8,7	0,9	1	tr	0,6	2,6	0,6	2,7
Rutilo	4,6	2,6	2,5	2	6,2	9,5	1,9	tr	0,6	2,6	1,6	2,7
Anatasio											0,6	
Staurolite	0,6		0,8	3,4	1,3		0,5	1,2		2		
Epidoto	5,7	7,8	10,9	4,7	3,8	4,8	11,5	6,3	6,7	11	0,8	13
Tormalina	4,6	5,2	7,6	4,1	9,9	2,8	4,3	1,5	2,4	3,3	1,6	5
Granato	28	37,7	29,4	13,7	12,5	19,8	21,1	13	9,1	20	17,4	32
Cloritoide	2,3	2,6	1,7	2		0,9					0,6	9,5
Corindone	2,3	2,6	18,6	8,2	3,8	3,7	2,4	0,8	1,8	4,6		
Picotite	13,6	15,6		22,5	28,7	22,7	6,7	2,8	3,6	8,5	45,5	15
Titanite	0,6					1,9	0,5	1,2		2,6	2,8	0,5
Sillimanite				0,7	1,3							0,6
Baritina		6,4				11,4						
Cianite							0,5				0,6	
Olivina				8,2		3,7	1,4	2,8	18			
CPX	6,8	2,6	3,4	6,8	5	2,8	3,3	0,8		4,6	0,6	0,9
OPX			0,8		1,3					0,6		

Tab. 3.2 Percentuale di minerali pesanti dei sedimenti dei fiumi Torre, Natisone, Judrio e Isonzo (Marocco, 1994). Legenda: tr = Tracce; CPX = Clinopirosseno; (Augite, Titanaugite, Diopside); OPX = Ortopirosseno (Iperstene); Corindone: di provenienza antropica; Epidoto: Pistacite + Clinozoisite.

I dati ricavati dalle analisi mineralogiche sono stati eseguiti sulla frazione sabbiosa dei sedimenti, previa eliminazione dei carbonati.

In definitiva sembra che i bacini dell'area aquileiese non posseggano le percentuali mineralogiche (soprattutto picotite) tipiche dei depositi litorali attuali. Gli stessi rilievi hanno valori di picotite associabili a quelli delle alluvioni isontine, precedenti alla mescolanza con le alluvioni del Torre, Natisone e Judrio.

4 Metodi

4.1 Operazioni di carotaggio

In questo lavoro sono stati studiati due sondaggi geognostici profondi: il sondaggio BLG1 e il PNC1, carotati rispettivamente in località di Beligna (UD) e Piancada (UD).
I sondaggi sono stati eseguiti nel Giugno dell'anno 2008 alle seguenti coordinate e con le caratteristiche sotto riportate:

1. Sondaggio Beligna. Ubicazione 45°,7485 N, 13°,3666 E. Profondità raggiunta dal piano campagna: 60,0 m. Quota piano campagna 2,0 m s. l. m.
2. Sondaggio Piancada. Ubicazione 45°,7650 N, 13°,1026 E. Profondità raggiunta dal piano campagna: 64,5 m. Quota piano campagna 1,4 m s. l. m.

Come sondaggio di riferimento è stato usato il sondaggio perforato a Concordia Sagittaria-Teatro denominato CNC4, che è stato effettuato nel parco pubblico di Via Pozzi romani di Concordia, nei giorni fra il 18 e il 23 Agosto del 2003. La profondità raggiunta è stata di 51,5 m dal piano campagna che è posto 2,0 m s.l.m.L'area del sondaggio CNC4 è situata a pochissima distanza dal maggiore scavo archeologico che ha indagato il teatro d'epoca romana, presso cui sono state documentate anche fasi di insediamento riferibili alla prima età del Bronzo (Croce Da Villa & Balestrazzi, 2001).
Il carotaggio è stato effettuato all'interno del progetto CARG (CARtografia Geologica) per la realizzazione del Foglio 107 "Portograuro" e la stratigrafia riassuntiva è stata pubblicata assieme ai dati relativi alle analisi paleontologiche e polliniche nelle note illustrative (Fontana et al., 2012). In questa tesi, i dati originari sono stati rivisti, elaborandodei nuovi log stratigrafici di dettaglio. Alla luce delle nuove informazioni disponibili per la pianura friulana, la sequenza di Concordia è stata quindi reinterpretata per realizzare un nuovo profilo stratigrafico E-W che considerasse i carotaggi CNC4-Teatro, PNC1 e BLG1.
Le operazioni di sondaggio sono state tutte eseguite dalla ditta Geoservizi s.r.l di Spresiano di Treviso. È stata utilizzata una sonda Atlascopco, montata su un veicolo Magirus, con carotiere semplice avente diametro interno di 88 mm e rivestimento metallico esterno da 127 mm.

4.2 Descrizione stratigrafica e sedimentologica

Il lavoro principalmente svolto in questi mesi ha riguardato lo studio sedimentologico dei due sondaggi PNC1 e BLG1. Inizialmente il lavoro si è svolto nel Dipartimento di Matematica e Geoscienze dell'Università di Trieste, nel quale si è provveduto ad aprire in serie tutte le casse contenenti le carote del sondaggio BLG1 per poterle tagliare e fotografare. Le carote sono state metro per metro tagliate manualmente con filo in acciaio armonico; quest'operazione è stata utile perché ha permesso la successiva descrizione ed è servita per la fase di campionamento per le analisi di laboratorio;

infatti, per ogni metro di sondaggio, la prima metà della carota (quella meglio conservata) veniva usata per la descrizione e poi nuovamente riposta in cella frigorifera mentre la seconda metà veniva prima campionata e poi, la parte rimanente conservata in un'altra serie di casse fuori della cella refrigerata.
Le fotografie per ogni metro di carota sono state effettuate con ambedue le metà e sono state scattate in modo tale che si potesse osservare tutto il metro; inaggiunta si è provveduto a scattare delle fotografie più in dettaglio, scattando una foto ogni 30 cm circa.
La descrizione della carota è stata eseguita prima in dettaglio e successivamente si è provveduto a fare un resoconto generale dell'intero sondaggio. Tra le varie proprietà descritte si ricordano la tessitura, il colore, la struttura, la consistenza, il grado di consolidazione, l'effervescenza, le geometrie sedimentarie, gli orizzonti pedologici, il contenuto paleontologico animale e vegetale.
La stima della percentuale delle diverse granulometrie riconosciute durante l'analisi del sondaggio, come il riconoscimento della presenza di limo o argilla, è stata condotta attraverso la manipolazione dei sedimenti inumiditi (plasticità, adesività) (Sanesi, 1977; Cremashi & Rodolfi, 1987).
I colori sono stati stimati solo dove l'avanzato stato di ossidazione ancora lo permetteva, con l'ausilio dell'apposita tavola cromatica di riferimento prodotta dalla Munsell Color Company (1996). Per la descrizione di questa proprietà sono stati considerati sedimenti umidi osservati alla luce non diretta del sole.
L'effervescenza, che serve a rivelare i tenori di carbonati presenti nel sedimento, è statadistinta in quattro gradi di effervescenza ed è stata valutata con l'utilizzo dell'Acido Cloridrico (HCl) diluito al 10%.
Oltre a queste proprietà fisiche sono state descritte, quando possibile, le percentuali di abbondanza, le dimensioni e i colori di eventuali elementi pedologici quali screziature, noduli di ossidi, concrezioni carbonatiche e patine. Si sono poi descritti i resti vegetali e paleontologici, generalmente rappresentati da frammenti di conchiglie, valve di molluschi quali ad esempio i bivalvi o gusci di gasteropodi marini e continentali.
Successivamente alla descrizione si è proceduto a disegnare a mano la stratigrafia evidenziando tutte le caratteristiche riportante anche nella descrizione; in seguito, con l'ausilio del software Adobe Illustrator CS5, si sono realizzati i log stratigrafici con colonnine di 5 m e, in seguito, si è elaborato il log stratigrafico complessivo del carotaggio (vedi capitoli 5, 6 e 7); quest'ultimo è stato poi utilizzato per la correlazione con i sondaggi PNC1 e CNC4.
Lo stesso procedimento è stato eseguito per il sondaggio PNC1, mentre per il sondaggio CNC4 si è provveduto solamente alla costruzione dei log stratigrafici specifici di dettaglio e al log stratigrafico complessivo.
La legenda alla quale fanno riferimento i log stratigrafici dei carotaggi BLG1, PNC1 e CNC4 è consultabile in figura 4.1 oppure negli allegati.

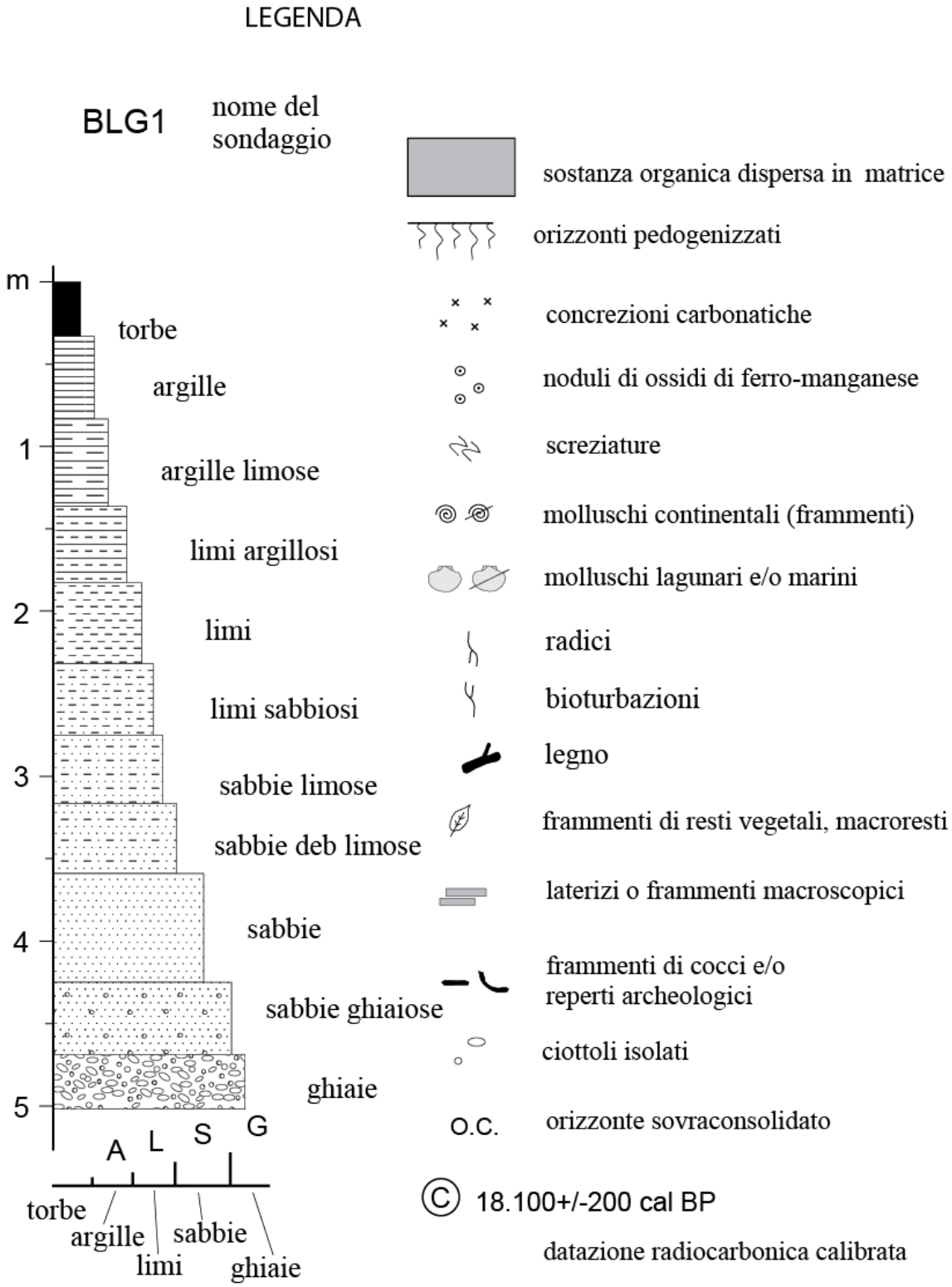


Fig. 4.1 Legenda alla quale fanno riferimento i log stratigrafici dei catoraggi BLG1, PNC1 e CNC4.

Sigla	Dscizione delle facies e delle associazioni di facies	Ambiente deposizionale
Aa	Sabbie da fini a medie con superficie erosiva alla base.	Canale di rotta (crevasse channel)
Ab	Sabbie fini omogenee, localmante siltose generalmente prive di tracce di radici e bioturbazioni.	Ventaglio di rotta (crevasse splay)
Ac	Alternanza di sabbie da fini a medie talora con laminazione planare o inncrociata a basso angolo e peliti; comuni resti vegetali minuti e tracce di radici.	Argine naturale (levee)
Ad	Alternanza di peliti, talora organiche, e livelletti di sabbie fini, comuni tracce di radice.	Piana alluvionale generica
Ad1	Peliti massive da organiche a debolmente organiche spesso bioturbate alla base.	Deposito palustre
Ad2	Peliti laminate spesso bioturbate e con tracce di radici.	Deposito di lago di intercanale di bassa profondità (pond)
B	Ghiaie sabbiose, sabbie da fini a grossolane con laminazione planare ed incrociate a basso angolo; diffusa presenza di clasti pelitici e macroresti vegetali.	Canale fluviale
B1	Sequenza negativa, da peliti a sabbie fini con macroresti vegetali e tracce di radici, sovrapposta a depositi lacustri.	Barra di foce palustre (mouth bar)
B2	Sequenza positiva, da sabbie fini a peliti organiche localmente con torbe al tetto.	Deposito della fase di abbandono di canale fluviale
C	Peliti laminate prive di tracce di radici talvolta bioturbate e con sporadica presenza di lamine di sabbie fini.	Deposito di lago di intercanale
D1	Peliti talvolta molto organiche e sabbie fini con canali di bioturbazione, talvolta tracce di radici e presenza di conchiglie di molluschi.	Ambiente lagunare
D2	Alternanza da millimetrica a centimetrica di sabbie fini e drappi pelitici, variamente bioturbati. Localmente nelle sabbie sono riconoscibili tracce di laminazione obliqua a piccola scala, mentre le peliti possono presentarsi con gruppi di lamine di spessore regolarmente variabile.	Ambiente da subtidale a intertidale, talora con indicazione di alternanza di maree sizigiali e di quadratua
D3	Alternanze centimetriche bioturbate di livelli di sabbie fini a base netta, talora con gradazione normale e livelli pelitici. Locali tracce di radici probabilmente riferibili a piane acquatiche.	Ambiente di baia sottoposto all'influenza di microtorbiere alimentate da delta di baia in fase trasgressiva
E	Sabbie da fini a medie con livelli di tritume conchigliare spesso da una superficie erosiva alla base.	Shoreface
F	Sabbie da fini a medie prevalenti con intercalati livelli pelitici in cui sono diffuse bioturbazione e strutture trattive; comuni conchiglie di molluschi intere e frammenti.	Fronte deltizia (delta front)
G	Peliti prevalenti con intercalati livelli di sabbie generalmente fini e con diffuse tracce di bioturbazione; comuni conchiglie di molluschi intere e frammenti.	Prodelta
H	Peliti massive omogenizzate da intensa bioturbazione; comuni conchiglie di molluschi intere e in frammenti.	Piattaforma interna con influenza di acque dolci
I	Peliti (prevale la frazione limosa) massive omogenizzate da intensa bioturbazione; comuni di conchiglie di molluschi intere.	Piattaforma interna
L	Peliti (prevale la frazione argillosa) massive omogenizzate da intensa bioturbazione; comuni di conchiglie di molluschi intere.	Piattaforma media
Pa	Suoli ben evoluti, con decarbonatazione degli orizzonti superficiali A e Bw con accumulo di carbonati nei sottostanti orizzonti Bk e/o Ck.	Suolo con grado di sviluppo elevato
Pb	Suoli moderatamente evoluti, con presenza di noduli carbonatici negli orizzonti profondi ma con solo parziale liscivazione degli orizzonti superficiali.	Suolo con grado di sviluppo medio
Pc	Suoli poco evoluti, con orizzonte organico A poggiante direttamente sull'orizzonte C.	Suolo con grado di sviluppo basso

Tab 4.1 Tabella dell'interpretazione delle facies e degli ambienti deposizionali (Foglio 107 "Portogruaro"; Fontana et al., 2012).

4.3 Campionamento

La successione sedimentaria dei sondaggi è stata studiata attraverso un'approfondita osservazione delle caratteristiche sedimentologiche che ha permesso il riconoscimento di un certo numero di facies e di loro associazioni di facies. Sulla base anche delle indicazioni di altre analisi svolte è stato possibile attribuire le facies riconosciute a diversi ambienti sedimentari inquadrabili come zone di piana alluvionale, di laguna o di palude, di litorale costiero, o più generalmente di ambiente continentale o marino (vedi tab.4.1).
La limitata possibilità di lettura dei carotaggi e il disturbo di questi, inevitabili durante le operazioni di carotaggio, rappresentano dei limiti ad un'interpretazione più raffinata e a scala più ampia; tuttavia tramite il confronto con altri sondaggi recuperati da lavori precedenti già pubblicati, si è tentato di correlare le informazioni raccolte in BLG1 e PNC1 su di un'area più estesa.
Sono stati prelevati dei campioni da entrambi i carotaggi BLG1 e PNC1 per eventualmente sottoporli a successive analisi paleobotaniche attraverso lo studio dei pollini al fine di poter effettuareuna ricostruzione paleoambientale dell'area più dettagliata e soprattutto ottenere delle informazioni crono-stratigrafico riguardo gli intervalli sedimentari riconosciuti.
Si sono effettuati anche dei campionamenti relativi ai macroresti vegetali, prevalentemente frammenti di legno, che sono stati rinvenuti nelle porzioni delle carote composte da sedimenti più fini o più ricchi di materia organica, come ad esempio nelle torbe.
Dai due sondaggi sono stati prelevati dei campioni per effettuare delle analisi paleontologiche, sia micropaleontologiche che macropaleontologiche, per poter rispettivamente meglio discriminare i dati sulla paleobatimetria e sulle malacofaune dell'area di studio.
Durante le operazioni di campionamento in alcuni casi, quando vi era presenza di frammenti di molluschi in sedimenti sabbiosi si è proceduto al lavaggio e alla setacciatura dei campioni con un vaglio di maglio 120 um.

4.3.1 Tabelle dei campioni

Campioni Pollini	Intervallo (m)	Campioni Pollini	Intervallo (m)
1	64,37 - 64,35	47	36,72 - 36,70
2	64,28 - 64,26	48	36,46 - 36,44
3	63.21 - 63,19	49	35,85 - 35,84
4	62,73 - 62,71	50	35,80 – 35,78
5	62,60 - 62,59	51	35,78 – 35,68
6	62,25 - 62,23	52	35,68 - 35,58
7	62,18 – 62,16	53	35,58 - 35,53
8	62,12 - 62,10	54	35,53 - 35,46
9	61,44 - 61,42	55	35,46 - 35,42
10	60,89 - 60,87	56	35,42 - 35,36
11	60,60 - 60,58	57	35,36 - 35,30
12	59,84 - 59,82	58	35,30 -35,29
13	59,14 - 59,12	59	35,26 – 35,12
14	56,72 - 56,70	60	34,42 - 34,40
15	53,44 -53,43	61	32,13 - 32,86
16	52,80 - 52,78	62	30,86 - 30,53
17	51,42 - 51,40	63	30,00 -29,70
18	50,32 - 50,30	64	29,03 -29,00
19	50,17 - 50,15	65	27,85 - 27,50
20	49,82 - 49,80	66	27,34 - 27,15
21	49,60 - 49,58	67	27,00 - 26,70
22	49,46 - 49,44	68	22,16 - 22,08
23	48,82 - 48,80	69	20,68 - 20,55
24	48,65 - 48,63	70	19,74 - 19,72
25	48,27 - 48,25	71	18,62 - 18,60
26	47,82 - 47,80	72	12,52 - 12,41
27	47,40 - 47,38	73	12,02 - 12,00
28	46,92 - 46,90	74	10,33 - 10,20
29	46,72 - 46,70	75	9,91 - 9,80
30	45,20 – 45,18	76	7,35 - 7,30
31	44,92 - 44,90	77	5,62 - 5,44
32	44,66 - 44,65	78	5,12 - 5,11
33	44,32 - 44,30	79	4,90 - 4,63
34	44,12 - 44,10	80	3,62 - 3,60
35	43,37 -43,30	81	2,52 - 2,50
36	43,30 -43,22		
37	43,22 - 43,14		
38	43,14 - 43,10		
39	43,10 - 43,00		
40	41,78 - 41,76		
41	41,36 - 41,35		
42	40,70 - 40,68		
43	40,32 - 40,30		
44	39,62 - 39,60		
45	38,62 - 38,60		
46	36,86 - 36,84		

Tab. 4.2 Campioni pollini del carotaggio PNC1

Campioni Micro	Intervallo (m)
1	64,37 - 64,35
2	64,28 - 64,26
3	60,52 - 60,50
4	59,84 - 59,82
5	59,14 - 59,12
6	56,72 - 56,70
7	55,39 - 55,37
8	52,80 - 52,78
9	51,66 - 51.65
10	51,42 - 51,40
11	50,32 - 50,30
12	50,17 - 50,15
13	49,82 - 49,80
14	49,60 - 49,58
15	49,46 - 49,44
16	49,36 - 49,35
17	48,82 - 48,80
18	48,65 - 48,63
19	48,27 - 48,25
20	47,82 - 47,80
21	47,40 - 47,38
22	46,92 - 46,90
23	46,72 - 46,70
24	46,40 - 46,37
25	45,32 - 45,30
26	45,20 - 45,18
27	44,92 - 44,90
28	44,32 - 44,30
29	44,12 - 44,10
30	43,92 - 43,90
31	43,82 - 43,80
32	43,42 - 43,40
33	43,34 -43,32
34	42,92 - 42,90
35	42,80 - 42,78
36	42,42 - 42,40
37	42,40 - 42,38
38	42,12 - 42,10
39	41,78 - 41,76
40	41,36 - 41,35
41	40,70 - 40,68
42	40,32 - 40,30
43	39,62 - 39,60
44	38,62 - 38,60
45	36,86 - 36,84
46	36,72 - 36,70

Campioni Micro	Intervallo (m)
47	36,42 - 36,40
48	35,41 - 35,40
49	35,07 - 35,05
50	34,42 - 34,40

Tab. 4.3 Campioni micropaleontologia del carotaggio PNC1

Campioni di Macro	Intervallo (m)
1	50,17 -50,00
2	51,66 -51,65
3	49,10 - 49,09
4	48,80 - 48,75
5	48,75 - 48,70
6	46,68 - 46,65
7	46,40 - 46,37
8	45,27 - 45,25
9	44,08 - 44,05
10	42,42 - 42,40
11	42,24 - 42,22
12	40,63 - 40,60
13	40,21 - 40,18
14	39,43 - 40,40
15	37,82 - 37,80
16	37,23 - 37,20
17	36,75 - 36,73
18	35,90 - 35,85

Tab. 4.4 Campioni macropaleontologia del carotaggio PNC1

Campioni Sabbie	Intervallo (m)
1	58,75 - 58,30
2	56,30 -58,29
3	48,98 - 48,96
4	40,83 - 40,80
5	38,83 - 38,80
6	37,43 - 37,40
7	36,13 - 36,10
8	35,90 - 35,85
9	31,40 - 31,37
10	26,53 - 26,50
11	25,28 - 25,25
12	15,83 - 15,80

Tab. 4.5 Campioni sabbie del carotaggio PNC1

Campioni di Carbonio	Intervallo (m)
1	35,57 - 35,55
2	35,30 - 35,29
3	35,15 - 35,14
4	31,90 - 31,89
5	30,55 - 30,50
6	30,00 - 29,99
7	29,72 - 29,71
8	29,00 - 28,01
9	27,86 - 27,85
10	27,81 - 27,80
11	27,76 - 27,75
12	27,72 - 27,71
13	27,56 - 27,53
14	27,19 - 27,18
15	26,96 - 26,95

Campioni di Carbonio	Intervallo (m)
16	26,76 - 27,75
17	26,72 - 27,71
18	22,10 - 22,09
19	20,68 - 20,67
20	20,58 - 20,57
21	12,44 - 12,43
22	12,01 - 12,00
23	10,21 - 10,20
24	9,82 - 9,81
25	7,36 - 7,35
26	5,61 - 5,60
27	5,45 - 5,44
28	4,88 - 4,87
29	4,65 - 4,64

Tab. 4.6 Campioni carbonio del carotaggio PNC1

Campioni Pollini	Intervallo (m)	Campioni Pollini	Intervallo (m)
1	59,32 - 59,30	45	36.35 (legno)
2	59,22 - 50,20	46	36,32 - 36,29
3	59,12 - 59,10	47	36,29 - 36,23
4	58,96 - 58,94	48	36,23 - 36,17
5	58,68 - 50,66	49	36,17 - 36,09
6	58,40 - 58,38	50	36,09 - 36,04
7	57,67 - 57,64	51	Top 36+ 27-25
8	57,17 - 57,14	52	Top 36+ 18-16
9	56,72 - 56,70	53	Top 36+ 12-10
10	56,53 - 56,50	54	Top 36+ 10-9
11	56,39 - 56,37	55	35,55 - 35,53
12	56,06 - 56,03	56	35,24 - 35,22
13	55,54 - 55,51	57	32,51 - 32,50
14	53,92 - 53,90	58	31,46 - 31,45
15	52,47 - 52,45	59	28,80 - 28,78
16	51,73 - 51,71	60	28.69 (legno)
17	51,52 - 51,50	61	28,60 - 28,58
18	51,32- 51,30	62	26,82 - 26,81
19	48,74 - 48,72	63	25,60 - 26,59
20	46,43 - 46,41	64	24.60 - 24,59
21	46,20 - 46,18	65	24,36 - 24,35
22	46,05 - 46,04	66	21,42 - 21,40
23	45,83 - 45,80	67	20,62 - 20,60
24	45,48 - 45,46	68	17,20 - 17,18
25	44,82 - 44,80	69	12,14 - 12,12
26	43,62 - 43,60	70	11,73 - 11,72
27	43,32- 43,30	71	11,67 - 11,65
28	43,07 - 43,05	72	10,56 - 10,54
29	42,81 - 42,80	73	9,75 - 9,72
30	42,22 - 42,20	74	5,17 - 5,15
31	42,07 - 42,05	75	4,73 - 4,72
32	41,87 - 41,85	76	3,25 - 3,23
33	41,12 - 41,10	77	2,83 - 2,70
34	40,90 - 40,88	78	2,70 - 2,55
35	40,17 - 40,15		
36	Top 39+ 8-6		
37	38,82 - 38,80		
38	37,52 - 37,50		
39	37,22 - 37,20		
40	36,54 - 36,50		
41	36,50 - 36,46		
42	36,46 - 36,38		
43	36.44 (legno)		
44	36,38 - 36,36		

Tab. 4.7 Campioni pollini del carotaggio BLG1

Campioni Micro	Intervallo (m)
1	59,30 - 59,30
2	59,22 - 59,20
3	59,12 - 59,10
4	58,96 - 58,94
5	58,68 - 58,66
6	58,40 - 58,38
7	57,67 - 57,64
8	57,50 - 57,49
9	57,39 - 57,38
10	57,17 - 57,14
11	56,72 - 56,70
12	56,53 - 56,50
13	56,06 - 56,03
14	56,39 - 56,37
15	55,54 - 55,51
16	53,92 - 53,90
17	53,32 - 53,30
18	52,47 - 52,45
19	51,73 - 51,71
20	51,62 - 51,60
21	51,32 - 51,30
22	50,44 - 50,43
23	49,27 - 49,25
24	48,74 - 48,72
25	46,43 - 46,41
26	46,20 - 46,18
27	46,07 - 46,05
28	45,83 - 45,80
29	45,48 - 45,46
30	44,82 - 44,80
31	43,62 - 43,60
32	43,32 - 43,30
33	43,07 - 43,05
34	42,82 - 42,80
35	42,22 - 42,20
36	42,07 - 42,05
37	41,87 - 41,85
38	41,12 - 41,10
39	40,90 - 40,88
40	40,17 - 40,15
41	Top 39+ 8-6
42	38,82 - 38,80
43	37,52 - 37,50

Campioni Micro	Intervallo (m)
44	37,22 - 37,20
45	Top 36+ 27-25
46	Top 36+ 18-16
47	Top 36+ 12-10
48	35,55 - 35,53
49	35,24 - 34,22
50	21,42 - 21,40
51	20,62 - 20,60
52	11,17 - 11,15

Tab. 4.8 Campioni micropaleontologia delcarotaggio BLG1

Campioni Macro	Intervallo (m)
1	58,90 - 58,89
2	58,68 - 58,67
3	55,00 - 54,00
4	54,55 - 54,54
5	51,70 - 51,60
6	51,70 - 51,58
7	51,20 - 51,18
8	51,00 - 50,00
9	50,00 - 49,50
10	49,50 - 47,00
11	48,50 - 48,00
12	47,00 - 46,50
13	44,20 - 44,00
14	44,70 - 43,70
15	42,20 - 42,19

Tab. 4.9 Campioni macropaleontologia del carotaggio BLG1

Campioni Sabbie	Intervallo (m)
1	59,80 - 59,79
2	56,30 - 56,29
3	55,30 - 55.29
4	30,50 - 30,49
5	24,50 - 24,49
6	19,30 - 19,29
7	11,73 - 11,72
8	4,40 - 4,29
9	3,60 - 3,45

Tab. 4.10 Campioni sabbie delcarotaggio BLG1

Campioni Carbonio	Intervallo (m)
1	Top 36,00+10
2	36.44 - 36,43
3	32,51 - 32,50 *
4	31.46 - 31,45
5	28,80 - 28,78
6	28,60 - 28,58
7	24,60 - 24,59
8	9,94 - 9,93
9	9,74 - 9,72
10	5,55 - 5,52
11	5,17 - 5,15
12	4,73 - 4,72
13	2,83 - 2,70
14	2,70- 2,55

Tab. 4.11 Campioni carbonio delcarotaggio BLG1

I campioni del carotaggio CNC4 sono stati presidalle Note illustrative della CartaGeologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 107 "Portogruaro" (Fontana et al., 2012). I campioni sono stati usati per le analisi di micropaleontologia per determinare la batimetria, per analisi micropaleontologiche per determinare le malacofaune. Da altri campioni di livelli torbosi si sono ricavate delle datazioni al radiocarbonio.

Campioni Micro	Intervallo (m)
1	38,69 - 38,71
2	38,82 - 38,84
3	39,17-39,19
4	40,67 - 40,69
5	40,94 - 40,96
6	41,65 - 41,67
7	43,16 - 43,18
8	44,00+13 - 44,00+19
9	45,30 - 45,32
10	49,26 - 49,28
11	50,69 - 50,71

Tab. 4.12 Campioni micropaleontologia del carotaggio CNC4

Campioni Macro	Intervallo (m)
1	19,55 - 19,60
2	30,38
3	36,55
4	28,9
5	39,34
6	38,75
7	39,30 - 39,60
8	39,60 - 39,75
9	40,3
10	40,55
11	41,20 - 41,70
12	42,00 - 42,20
13	44,00 - 44,15
14	45,6
15	47,1
16	49,20 - 49,70
17	5,30 - 50,70

Tab. 4.13 Campioni macroplaeonologia del carotaggio CNC4

Campioni Carbonio	Intervallo (m)
1	11,07
2	29,31
3	36,18
4	37,58
5	38,38

Tab. 4.14 Campioni carbonio del carotaggio CNC4

4.4 Datazioni al radiocarbonio

Sono state usate delle datazioni geocronologiche ottenute con il metodo del radiocarbonio; alcune sono state effettuate per questo studio mentre altre sono riprese da altri lavori, come riportato in bibliografia. Si indicano le datazioni convenzionalmente con ^{14}C non calibrata (BP, before present) mentre solo in alcuni casi sono state citate datazioni corrette espresse come: a.C., d.C. o BP cal. Con il termine BP si intende il 1950.
Queste datazioni sono state eseguite su campioni particolarmente organici o torbosi che potessero possedere un sufficiente contenuto di carbonio.

Sono stati inviati quattro campioni per le datazioni al CEDAD (Centro di Datazione e Diagnostica) del Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione dell'Università del Salento.
I campioni indicati in tabella 4.15 sono stati sottoposti a datazione con il metodo del radiocarbonio mediante la tecnica della spettrometria di massa ad alta risoluzione (AMS). Di seguito vengono riportati i procedimenti di analisi seguiti dal laboratorio.

Codice	Codice CeDaD	Profondità (m)	Materiale
PNC1-2671	LTL12860A	26,71	Torba
PNC1-3188	LTL12861A	31,88	Torba
BLG1-2878	LTL12862A	28,78	Torba
BLG1-3252	LTL12863A	32,52	Torba

Tab 4.15 Elenco del materiale analizzato e relativo codice identificativo.

I macro contaminanti presenti nel campione sono stati individuati mediante osservazione al microscopio ottico e rimossi meccanicamente.
Il trattamento chimico di rimozione delle contaminazioni del campione è stato effettuato sottoponendo il materiale selezionato ad attacchi chimici alternati acido-alcalino-acido.
Il materiale estratto è stato successivamente convertito in anidride carbonica mediante acidificazione, e quindi in grafite mediante riduzione. Si è utilizzato H_2 come elemento riducente e polvere di ferro come catalizzatore. La quantità di grafite estratta dai campioni è risultata sufficiente per una accurata determinazione sperimentale delle età.

La concentrazione di radiocarbonio è stata determinata confrontando i valori misurati delle correnti di ^{12}C e ^{13}C, e i conteggi di ^{14}C con i valori ottenuti da campioni standard di Saccarosio C6 forniti dalla IAEA.
La datazione convenzionale al radiocarbonio è stata corretta per gli effetti di frazionamento isotopico sia mediante la misura del termine $\delta^{13}C$ effettuata direttamente con l'acceleratore, sia per il fondo della misura.
Campioni di concentrazione nota di Acido Ossalico forniti dalla NIST (National Institute of Standard and Technology) sono stati utilizzati come controllo della qualità dei risultati. Per la determinazione dell'errore sperimentale nella datazione al radiocarbonio è stato tenuto conto sia dello scattering dei dati intorno al valore medio, sia dell'errore statistico derivante dal conteggio del ^{14}C.
La datazione al radiocarbonio per i campioni è stata quindi calibrata in età di calendario utilizzando il software OxCal Ver. 3.10 basato sui dati atmosferici (Reimer et al., 2004). Il risultato della calibrazione è riportato nei grafici e nelle tabelle del capitolo 8.

4.5 Datazioni ESR

Come ricordato sopra, i carotaggi PNC1 e BLG1 sono stati realizzati nell'estate del 2008 all'interno del Progetto VECTOR (responsabili dell'unità locale Dott. Fabrizio Antonioli e Prof. Giorgio Fontolan). Tuttavia, prima del lavoro di questa, tesi le carote sono state considerate solo per prelevare alcuni resti di conchiglie e sottoporli ad indagini geocronologiche che dimostrassero l'età tirreniana dei depositi marini più profondi traversati dai sondaggi. In particolare, nel settembre del 2008 sono stati campionati parte degli orizzonti del carotaggio BLG1 con evidenti faune lagunari per poter essere sottoposti a datazione tramite il metodo dell'Electron Spin Resonance (ESR; Schellmann et al., 2008). Questa è una tecnica spettroscopica impiegata per individuare ed analizzare specie chimiche contenenti uno o più elettroni spaiati, denominati centri paramagnetici, su cui si basa la datazione. Nello specifico di tale studio questi centri paramagnetici sono presenti nel carbonato di calcio ($CaCO_3$) dei gusci degli organismi fossili e tale tecnica era stata precedentemente impiegata con successo su alcuni esemplari di Cerastoderma campionati in pozzi dell'area romagnola (Ferranti et al., 2006).
I campioni sono stati prelevati dal sondaggio BLG1 nell'intervallo 51,20-50,50 m e inviati al prof. Ulrich Radtke, presso il Geographisches Institut dell'Università di Colonia (Germania). Si deve però far notare che gli analisti hanno denotato il non buono stato dei campioni per questo tipo di analisi e che i risultati, descritti in seguito (paragrafo 8.2), hanno quindi una validità limitata.

4.6 Rilievi geologici marini

Come già evidenziato nella premessa e nell'introduzione, durante questo lavoro di tesi si è potuto partecipare anche alla crociera oceanografica denominata NAD12, a bordo della nave "Urania". Questa attività di ricerca scientifica è stata effettuata nell'Alto Adriatico, sia lungo le coste italiane delle regioni Emilia Romagna, Veneto e Friuli Venezia Giulia, sia lungo le coste della Slovenia. Il progetto di ricerca comprendeva anche dei passaggi lungo la costa dell'Istria croata, ma per problemi burocratici non è stato possibile accedere alle acque territoriali di tale nazione.
La crociera è stata pianificata nell'ambito della collaborazione tra il CNR-ISMAR di Bologna e il Dipartimento di Geoscienze. In particolare NAD12 è stata svolta all'interno del progetto di ricerca "Studio delle variazioni eustatiche e della subsidenza in Alto Adriatico negli ultimi 130.000 anni attraverso indicatori geomorfologici, stratigrafici e geoarcheologici", finanziato nel 2010 dall'Università degli Studi di Padova e di cui è responsabile il Dr. Alessandro Fontana. La nave Urania su cui si è svolta questa ricerca è un'imbarcazione gestita dalla Società SO. PRO. MAR. ed è utilizzata da vari enti di ricerca italiani. Per questa crociera era utilizzata all'Istituto di Scienze Marine (ISMAR) di Bologna, sezione del CNR specializzata nella geologia marina; il capo missione era la Dottoressa Anna Maria Correggiari. L'imbarcazione è equipaggiata per ospitare fino ad un totale di 36 persone, fra equipaggio e personale scientifico, per una durata massima di 45 giorni.
Tra gli obiettivi della crociera vi era lo studio approfondito dei depositi marini per poter investigare l'evoluzione dell'Adriatico Settentrionale nel tardo Pleistocene e Olocene in rapporto alle variazioni climatiche e soprattutto la risalita marina successiva al LGM. Numerosi sono stati gli elementi geomorfologici e stratigrafici acquisiti durante questa missione e, infatti, è stato possibile ottenere dati riguardanti la morfologia del fondale marino, la tipologia di sedimenti e soprattutto la geometria dei corpi sepolti e superficiali.
L'attrezzatura della quale è fornita l'imbarcazione comprende vari laboratori per analisi e campionamento geologico, laboratori chimici e radiologici, oltre alla possibilità di elaborazione informatica dei dati acquisiti. Importante per quest'imbarcazione è la possibilità di poter eseguire manovre di precisione per il mantenimento della posizione durante i lavori di campionamento in mare. Tale capacità è dovuta al sistema di posizionamento Simrad, che effettuando delle manovre automatiche garantisce una certa stabilità in fase di rilevamento e campionamento.
Durante il periodo di navigazione svoltosi fra il 18-29 maggio 2012 sono stati effettuati vari campionamenti di sedimento; tra gli strumenti utilizzati a bordo si è fatto uso soprattuto del campionatore a gravità. Questo viene sfruttato per prelevare campioni cilindrici indisturbati di sedimento che hanno una bassa resistenza alla penetrazione. Questo strumento è composto da una "testa" del peso di 1.200 kg, montata all'estremità superiore di un tubo d'acciaio, denominato "camicia",della lunghezza di 6 m e dal diametro di 101,6 mm (Rossato, 2009). L'intero corpo viene calato per caduta libera,

all'esterno della murata della nave, penetrando così i sedimenti sul fondale fino a massimo 8 m di profondità. Al termine dell'operazione di carotaggio il tubo in PVC interno alla camicia viene estratto e tagliato metro per metro e conservato in cella frigorifera.

Fig. 4.2 Carotiere a gravità.

Dalla partenza, avvenuta dal porto di Chioggia, al ritorno presso il porto di Ravenna, si è usato il Chirp (Compressed High Intensity Radar Pulse), uno strumento che sfrutta l'emissione di un segnale acustico modulato ad alta frequenza che indaga la struttura interna della porzione sommitale di sedimenti non consolidati (Bull et al., 1998). La risoluzione verticale ottenibile è dipendente, come nel caso del Multibeam, dalla frequenza di emissione del segnale, mentre la risoluzione orizzontale è funzione delle caratteristiche tecniche dell'emettitore, quali ad esempio l'angolo di emissione, impedenza acustica del substrato, altezza della colonna d'acqua e durata dell'intervallo tra gli impulsi (Quinn *et al.*, 1998). Nel caso della crociera NAD12 la strumentazione in dotazione (modello BENTHOS CHIRP II Mod.CAP-6600 a 16 trasduttori, montato in chiglia) consentiva variazioni di frequenza dai 2 ai 7 kHz. E' stata adottata una configurazione con lunghezza dell'impulso fissa a 20 ms e frequenza di emissione di 0.25 s. I dati, acquisiti in formato digitale, sono stati georeferenziati in fase di registrazione grazie al sistema di posizionamento GPS differenziale montato sulla nave. La risoluzione verticale dei profili acquisiti durante la missione è stata in media di pochi decimetri.

La crociera ha portato all'acquisizione di oltre 1000 NM di profili Chirp, ma in questa tesi ne sono stati analizzati una minima parte di essi. Sono stati però considerati anche altri profili Chirp acquisiti dall'Urania nel 2004 e 2005 durante le crociere VE04 e

VE05 che hanno condotto alla realizzazione del foglio “Venezia” della carta geologica dei mari italiani (Trincardi et al., 2011).
Importante strumento per la caratterizzazione morfologica dei fondali è stato il sistema Multibeam, che corrisponde ad un sonar utilizzato per stimare la profondità del fondo marino, analizzando il tempo impiegato da un impulso sonoro inviato da un trasduttore, posto sotto la chiglia della nave, per raggiungere la base della colonna d’acqua e venire riflesso nuovamente verso il rilevatore (Zhou & Chen, 2004).
Al contrario dei normali sonar installati a bordo delle imbarcazioni come ausilio alla navigazione, che inviano un singolo impulso sonoro alla volta, in modo da conoscere la profondità del mare direttamente sotto la chiglia, i sistemi Multibeam inviano numerosi impulsi contemporaneamente, coprendo quindi un’area a forma di ventaglio, il cui apice coincide con l’emettitore. Poiché l’acquisizione di questo tipo di dati avviene “in continuo”, la percorrenza di rotte parallele tra loro a una distanza opportuna consente di ottenere mappe batimetriche, la cui risoluzione è proporzionale alla frequenza di emissione, al netto di tutte le problematiche legate alle condizioni meteo-marine (Wienberg *at al.*, 2004).
Durante la crociera oceanografica in esame, il Multibeam utilizzato (modello Simrad-Kongsberg EM710) emetteva con frequenze comprese tra i 70 e i 100 kHz, con un angolo apicale del ventaglio di 2°. Nel caso specifico, le condizioni ambientali vigenti fanno corrispondere questi dati tecnici a un’acquisizione lineare al fondo pari a circa cinque volte l’altezza della colonna d’acqua (Rossato et al., 2009).

Fig. 4.3 Nave ricerca Urania.

5 Carotaggio PNC1

Il sondaggio PNC1 è stato perforato presso l'azienda agricola Marianis di Piancada (UD) alle coordinate 45°,7650 N, 13°,1026 E fra il 18 e il 20 Giugno 2008. La profondità raggiunta del sondaggio è di 64,5 m dal piano campagna posto a 1,4 m s.l.m. Durante le operazioni di descrizione delle carote sono stati campionati numerosi intervalli per eventuali studi paleontologici, palinologici, radiocarbonici e petrografici. Di questi solo una minima parte è già stata analizzata. L'elenco completo dei campioni prelevati si trova nel paragrafo 4.3.1.

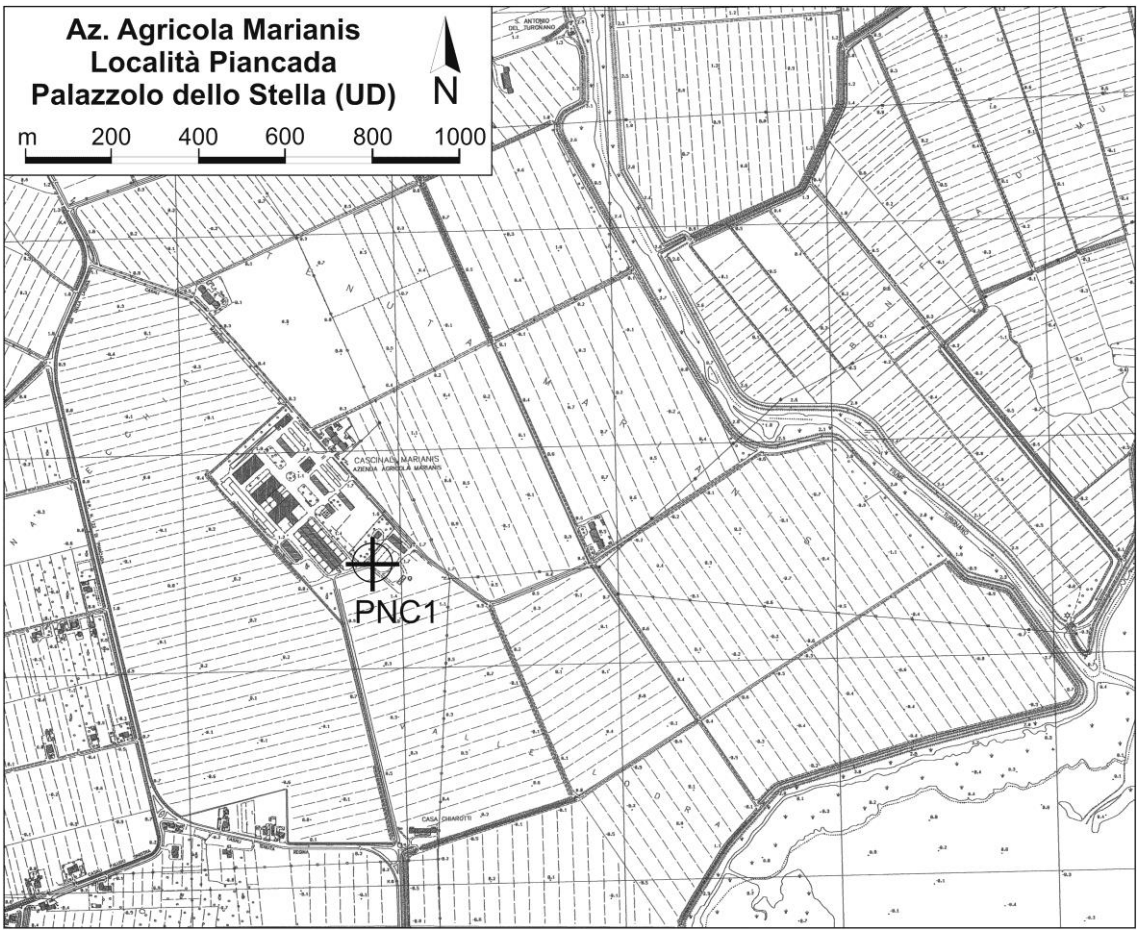
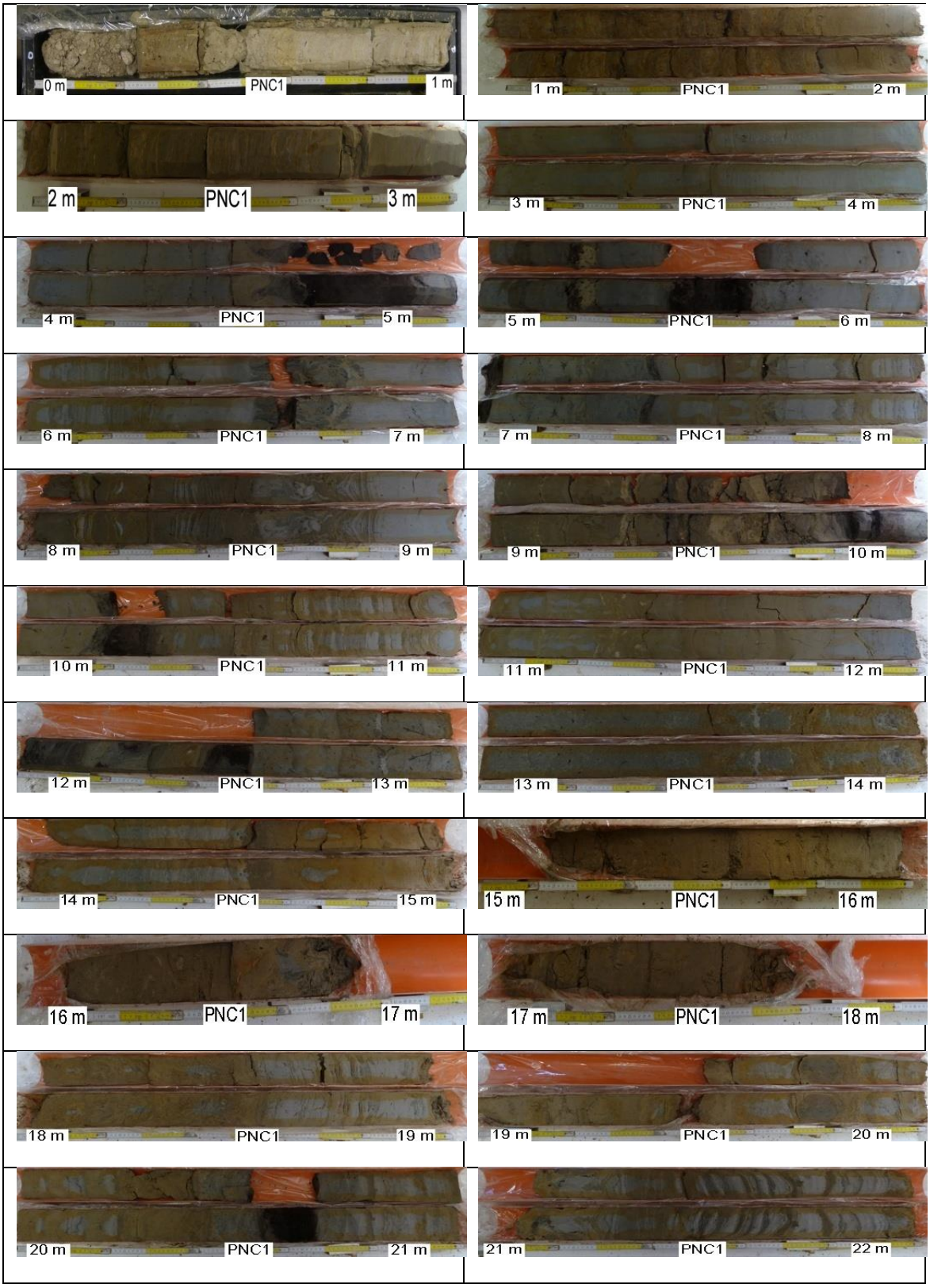
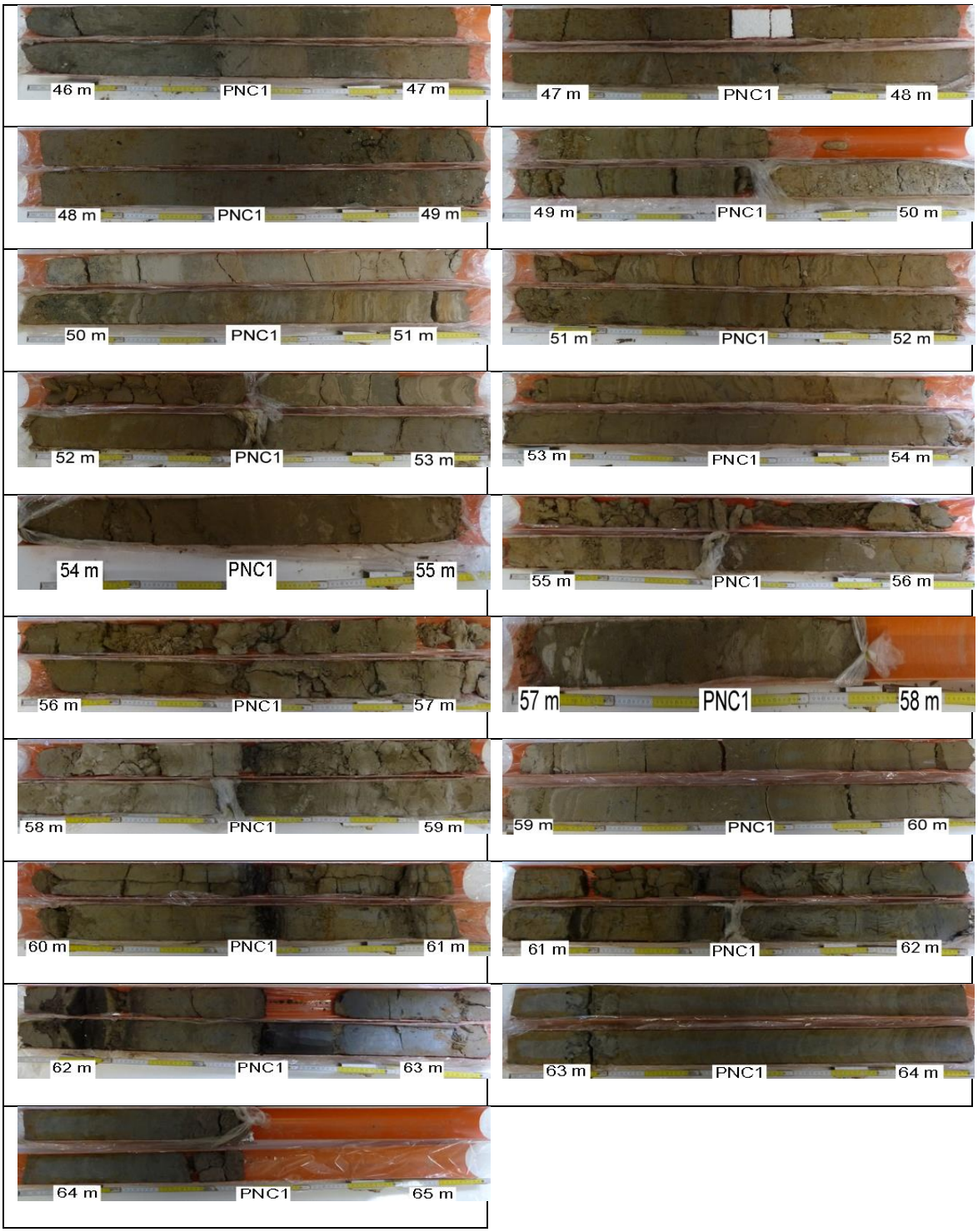


Fig. 5.1 Ubicazione sondaggio PNC1

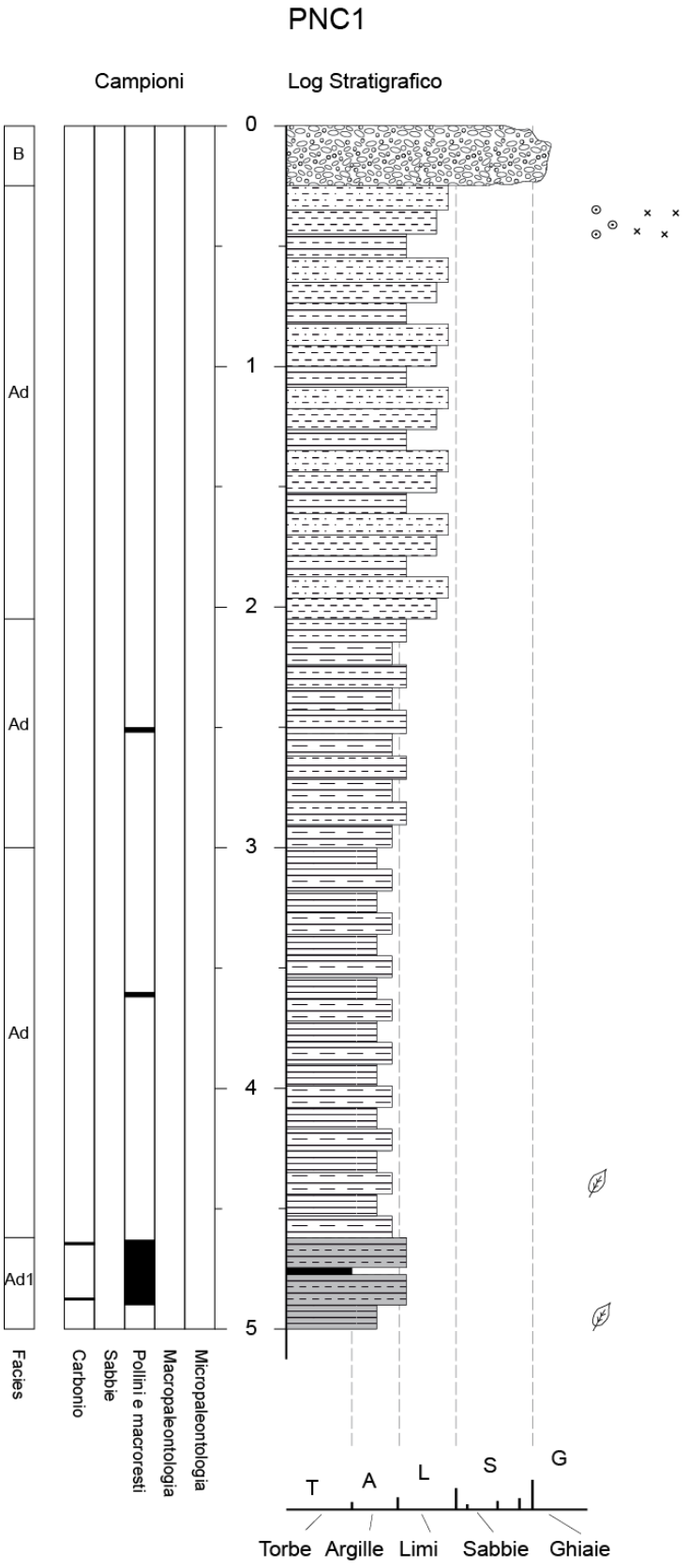
5.1 Fotografie carotaggio PNC1

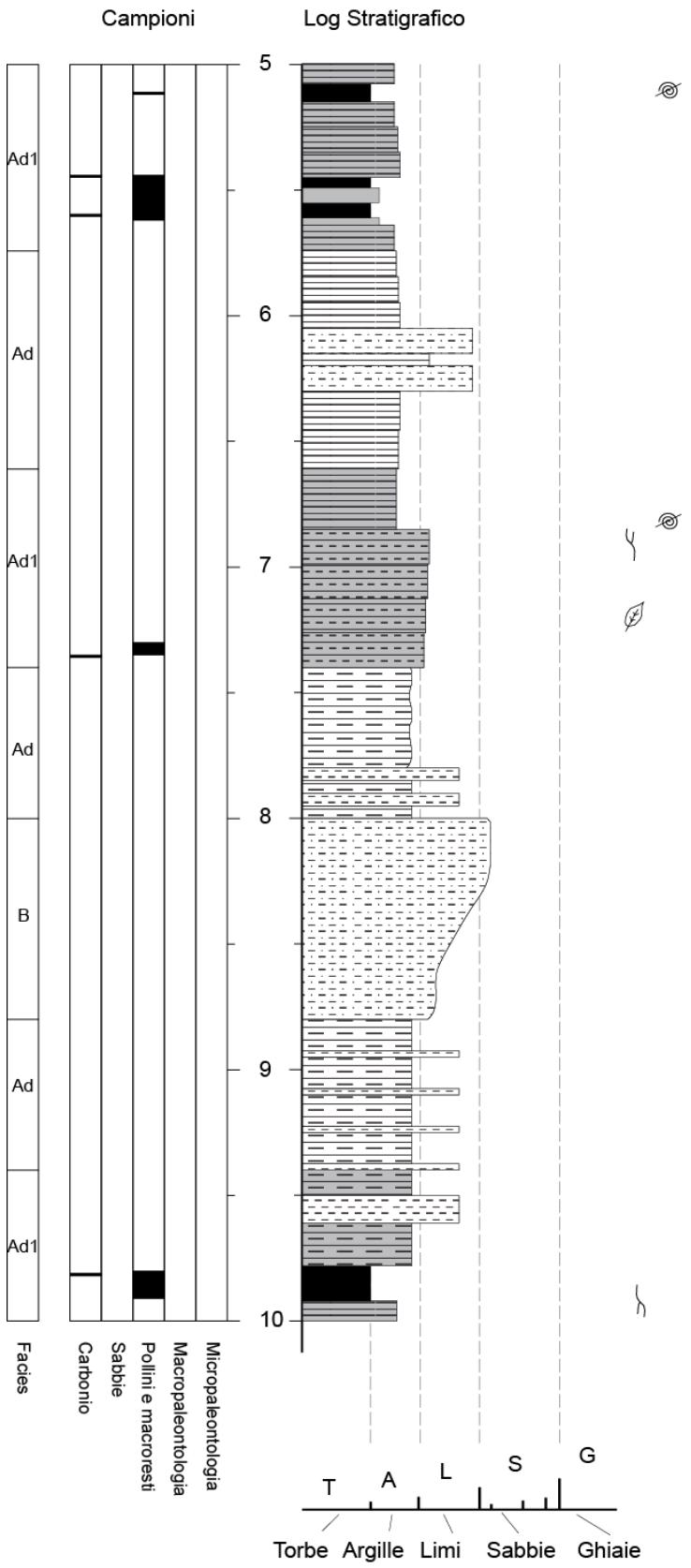


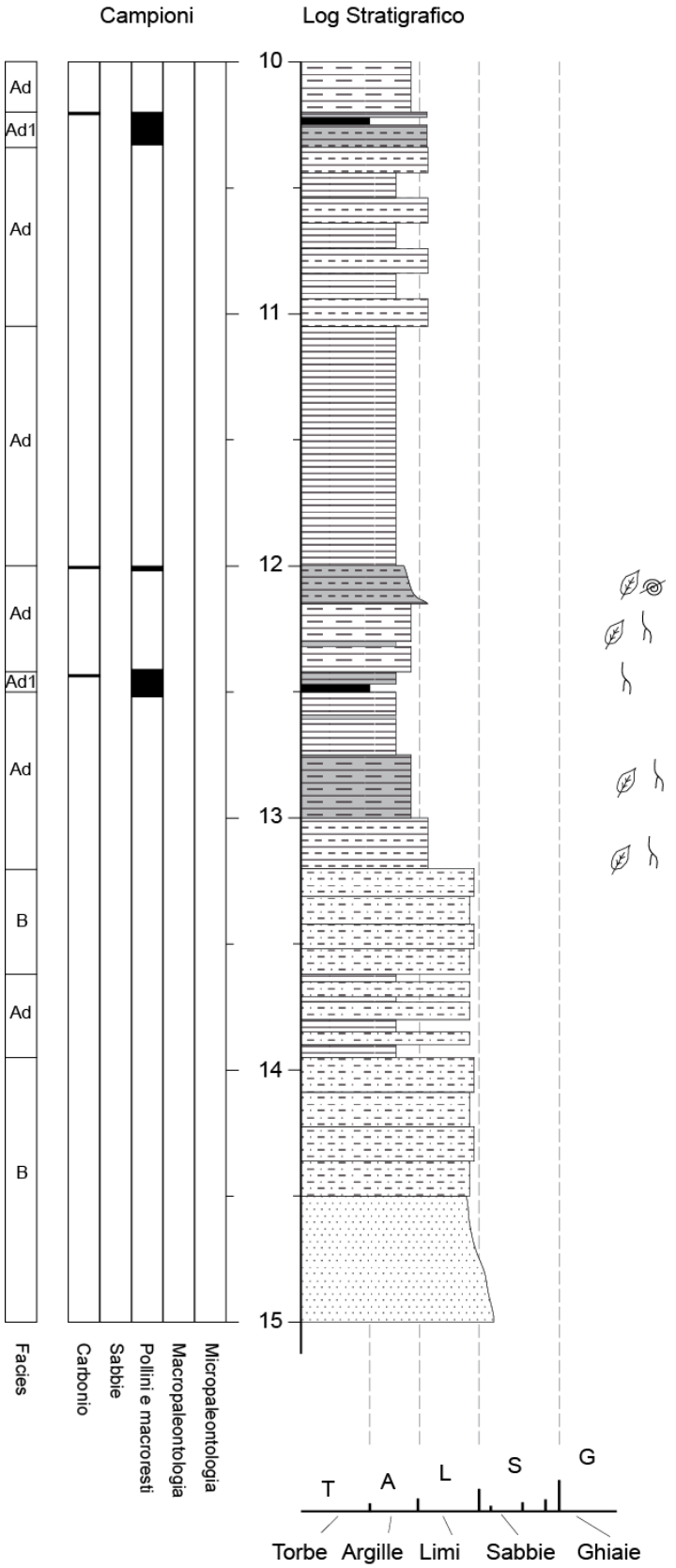
22 m PNC1 23 m
23 m PNC1 24 m
24 m PNC1 25 m
25 m PNC1 26 m
26 m PNC1 27 m
27 m PNC1 28 m
28 m PNC1 29 m
29 m PNC1 30 m
30 m PNC1 31 m
31 m PNC1 32 m
32 m PNC1 33 m
33 m PNC1 34 m
34 m PNC1 35 m
35 m PNC1 36 m
36 m PNC1 37 m
37 m PNC1 38 m
38 m PNC1 39 m
39 m PNC1 40 m
40 m PNC1 41 m
41 m PNC1 42 m
42 m PNC1 43 m
43 m PNC1 44 m
44 m PNC1 45 m
45 m PNC1 46 m

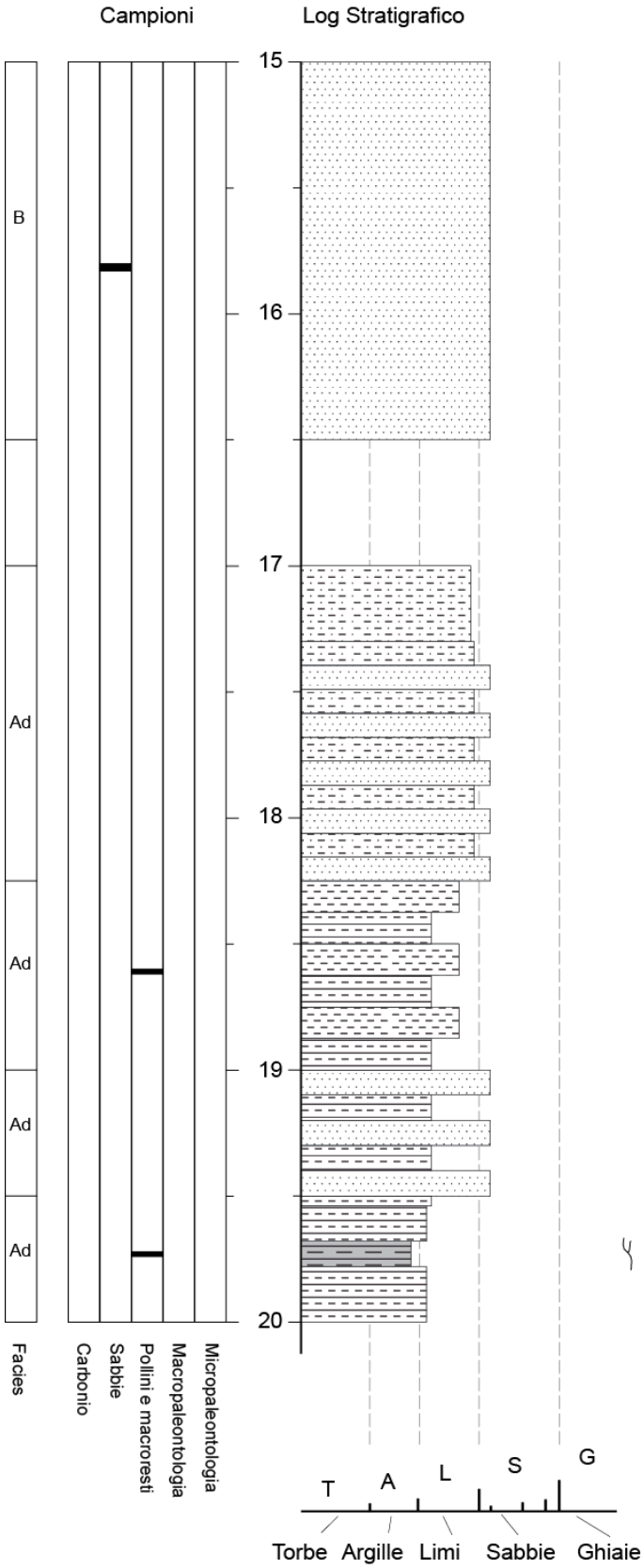

46 m PNC1 47 m
47 m PNC1 48 m
48 m PNC1 49 m
49 m PNC1 50 m
50 m PNC1 51 m
51 m PNC1 52 m
52 m PNC1 53 m
53 m PNC1 54 m
54 m PNC1 55 m
55 m PNC1 56 m
56 m PNC1 57 m
57 m PNC1 58 m
58 m PNC1 59 m
59 m PNC1 60 m
60 m PNC1 61 m
61 m PNC1 62 m
62 m PNC1 63 m
63 m PNC1 64 m
64 m PNC1 65 m

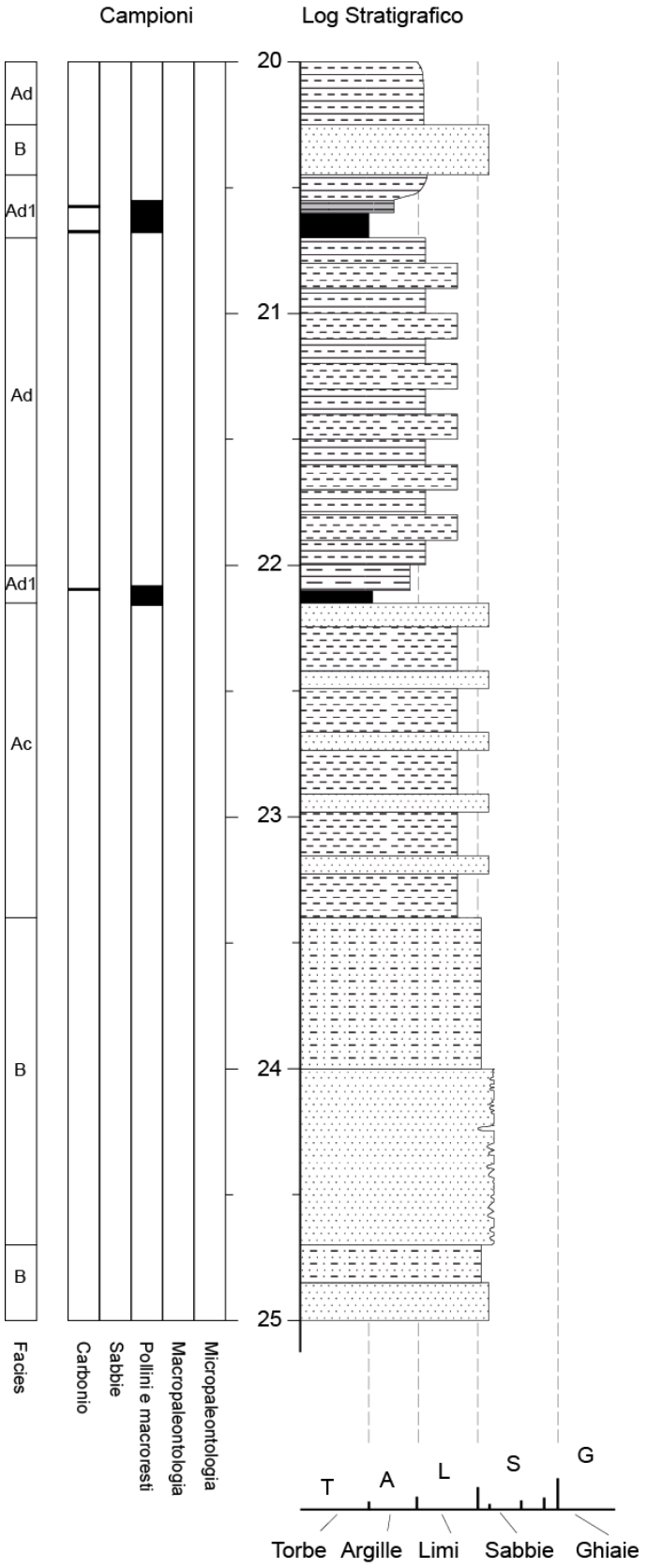
5.2 Log stratigrafico sondaggio PNC1

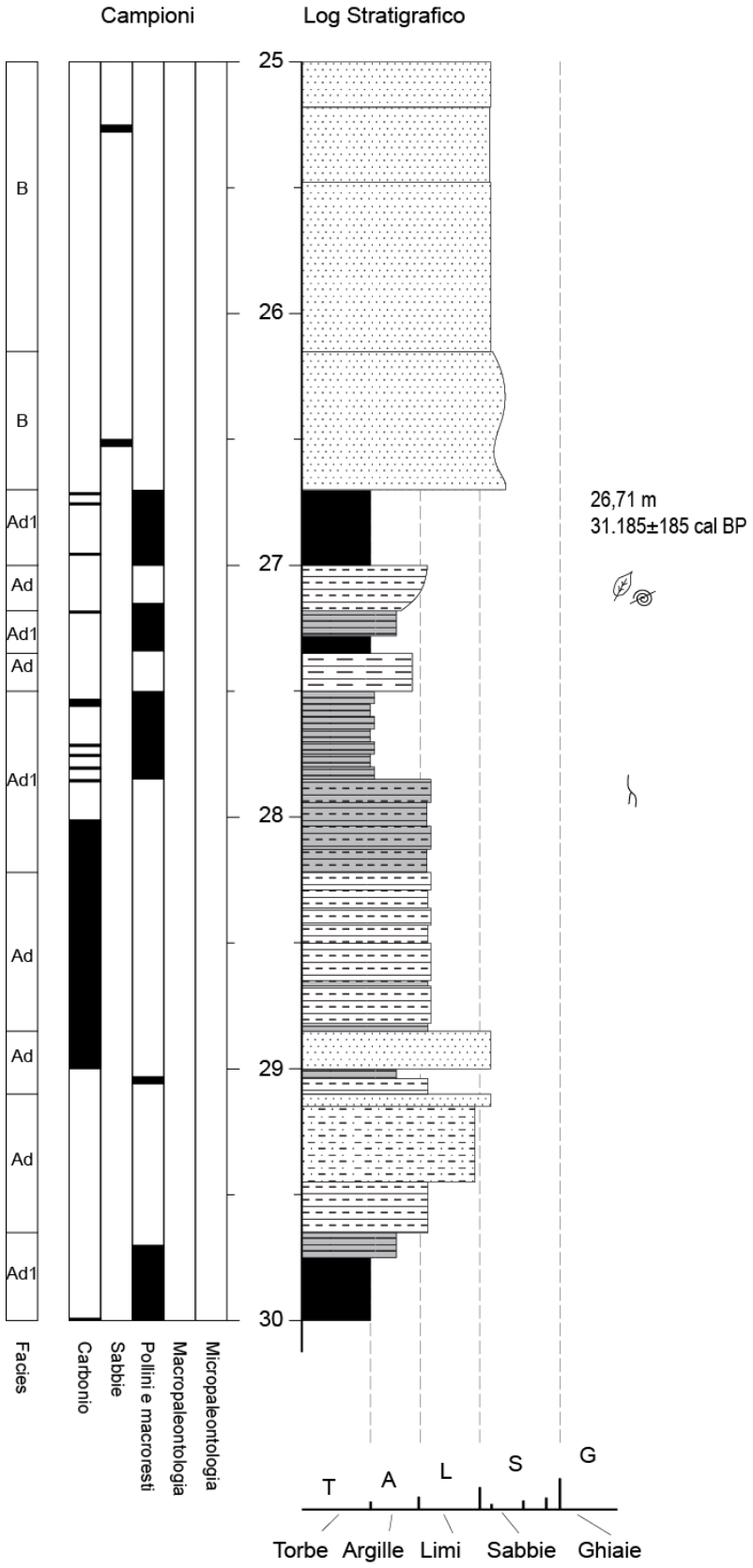


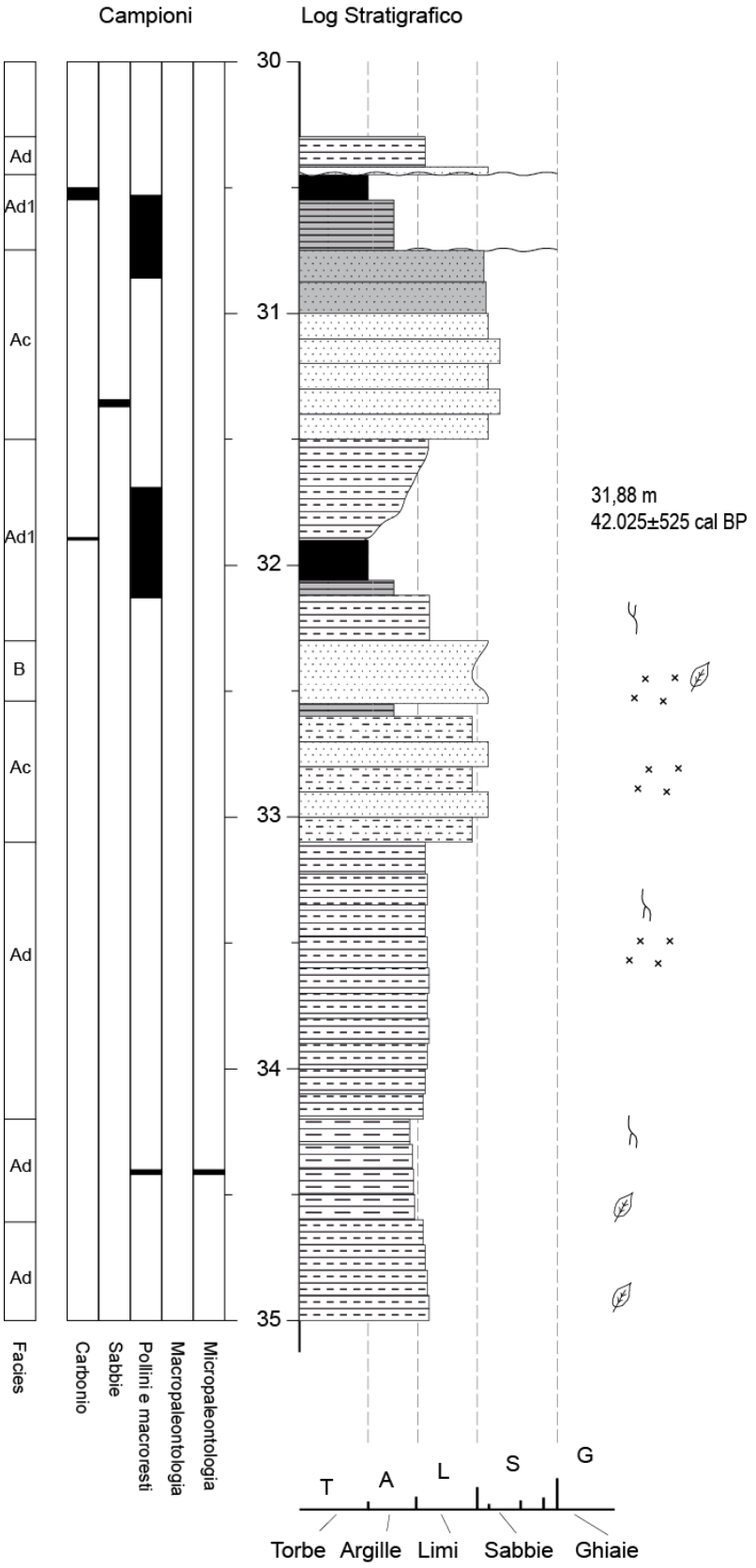

Campioni
Log Stratigrafico
Ad1
Ad
Ad1
Ad
B
Ad
Ad1
5
6
7
8
9
10
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

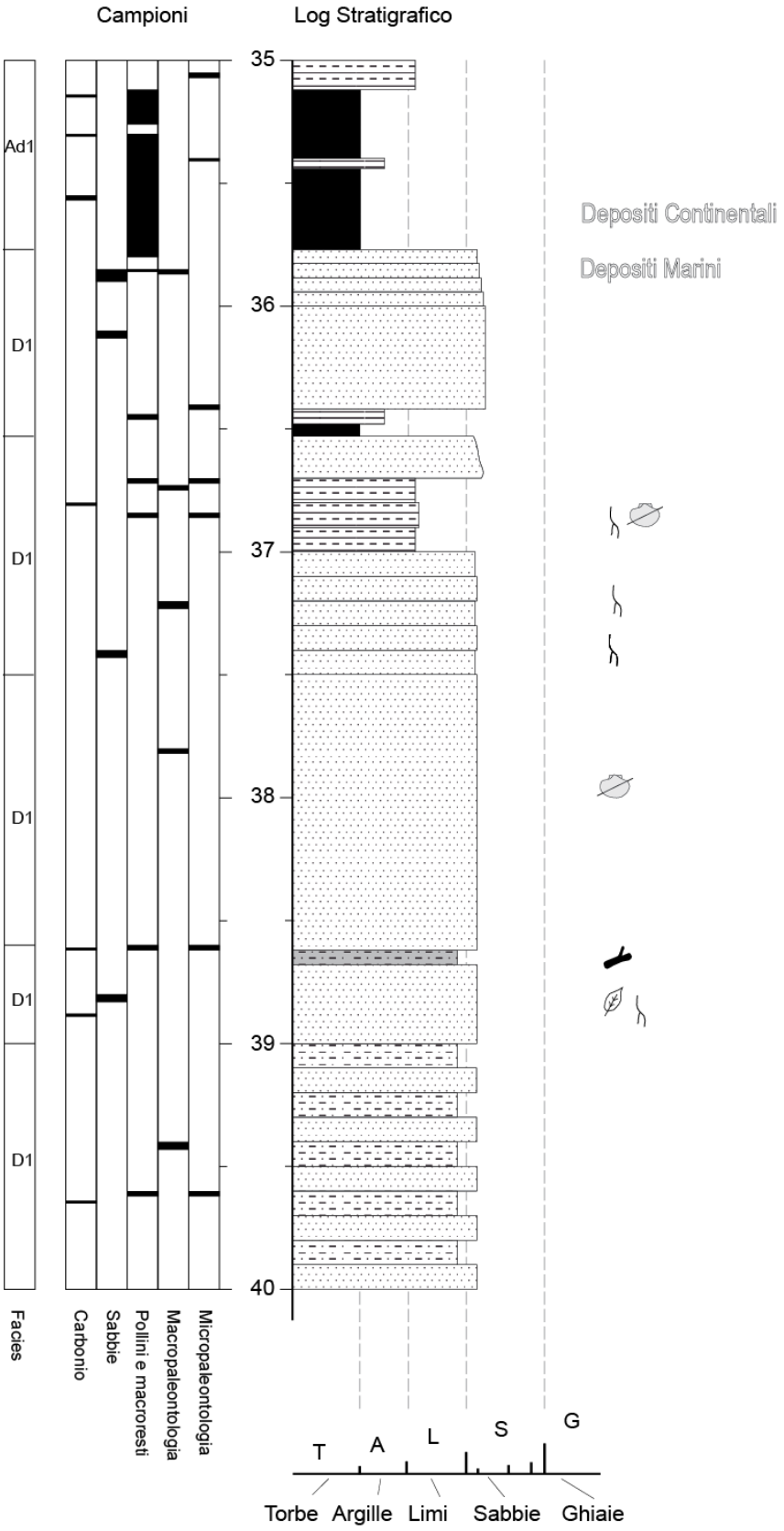

Campioni
Log Stratigrafico
Ad
Ad1
Ad
Ad
Ad
Ad1
Ad
B
Ad
B
10
11
12
13
14
15
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

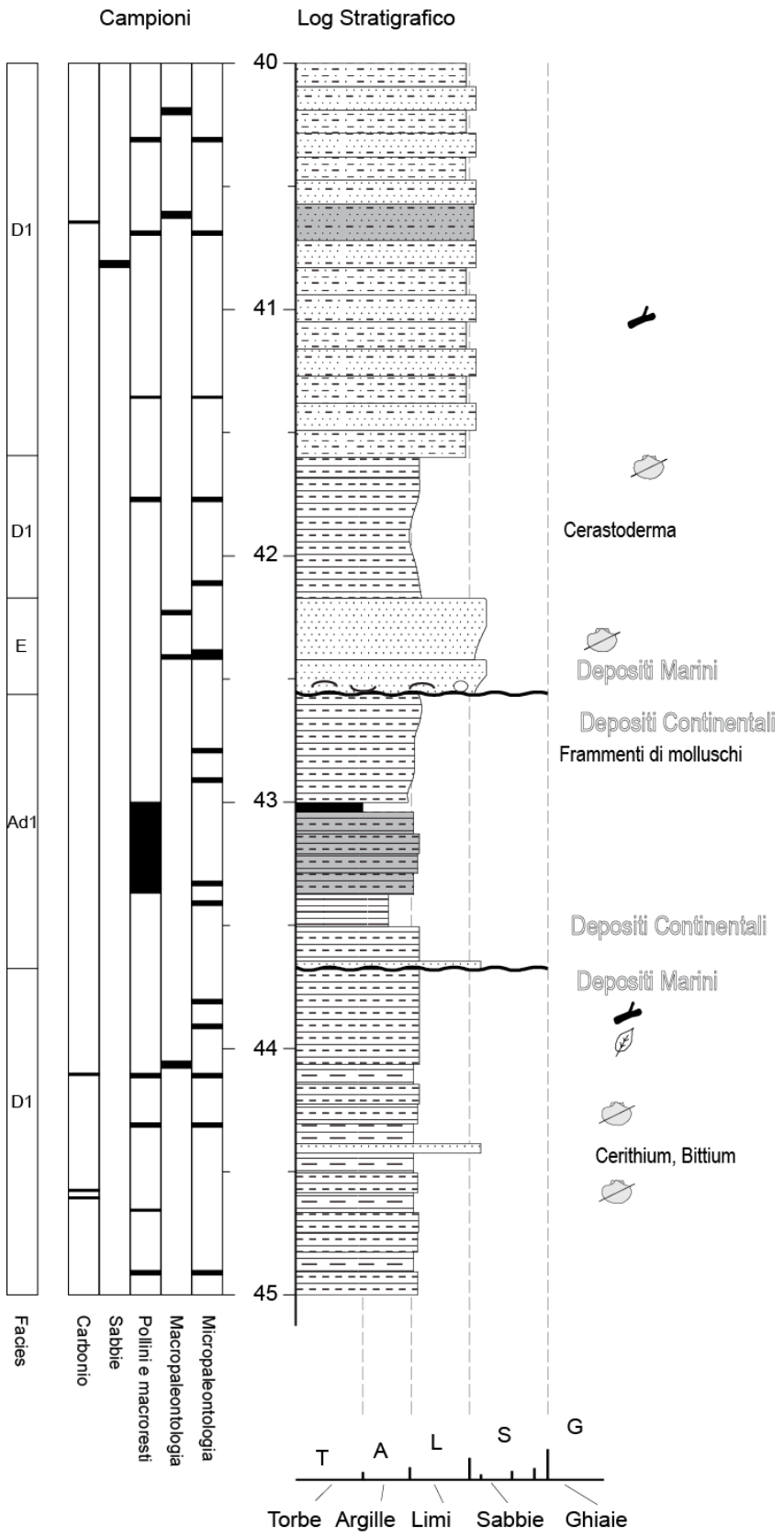

Campioni
Log Stratigrafico
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
B
Ad
Ad
Ad
Ad
15
16
17
18
19
20
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

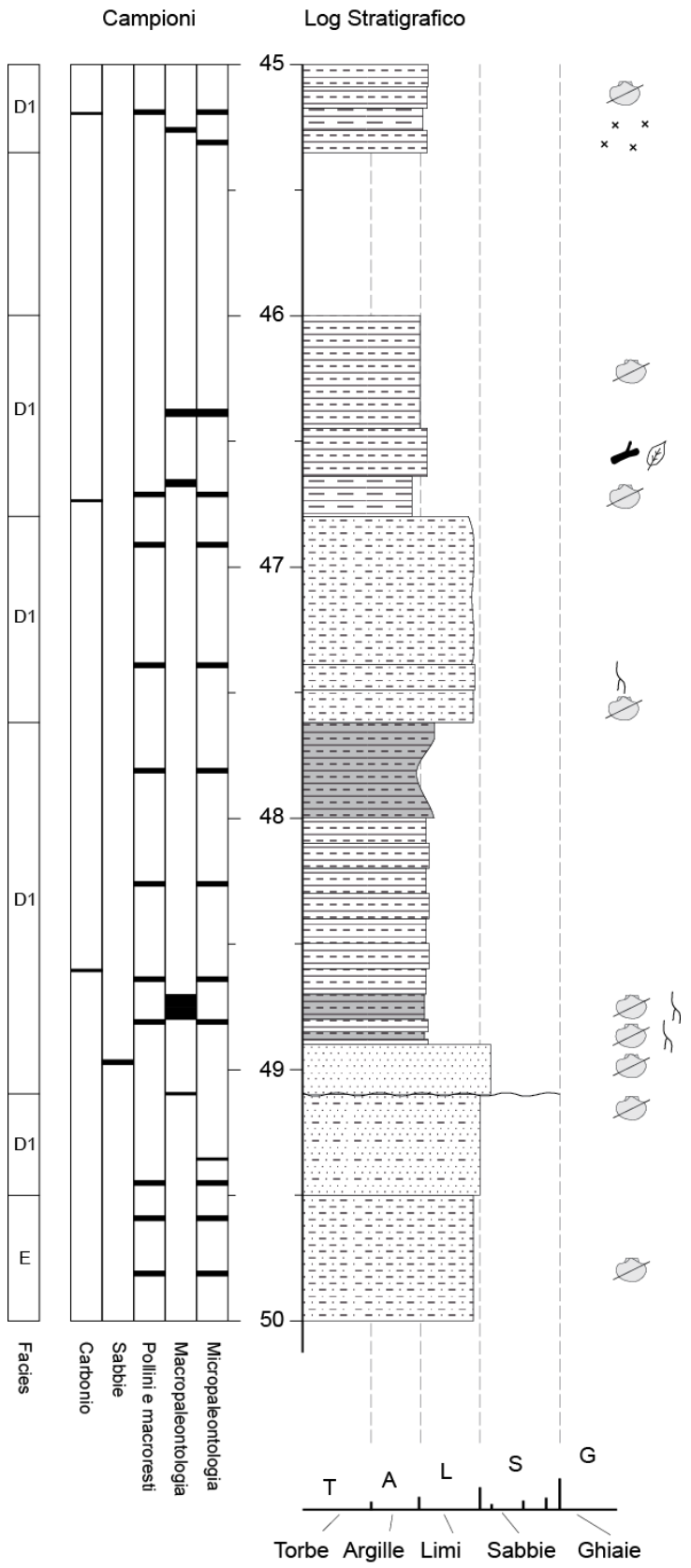

Campioni
Log Stratigrafico
Ad
B
Ad1
Ad
Ad1
Ac
B
B
20
21
22
23
24
25
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

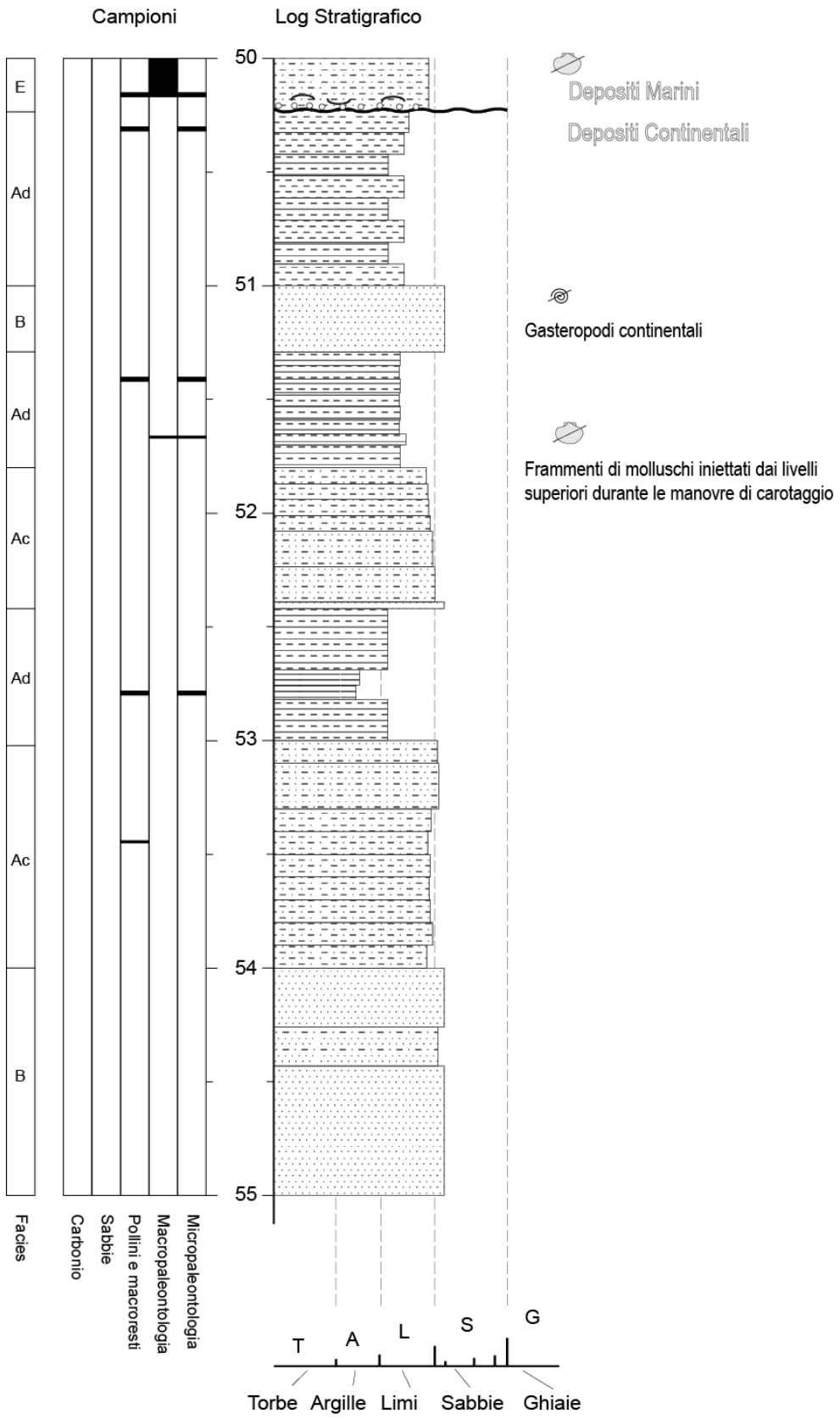

Campioni
Log Stratigrafico
25
26
27
28
29
30
B
B
Ad1
Ad
Ad1
Ad
Ad1
Ad
Ad
Ad
Ad1
26,71 m
31.185±185 cal BP
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

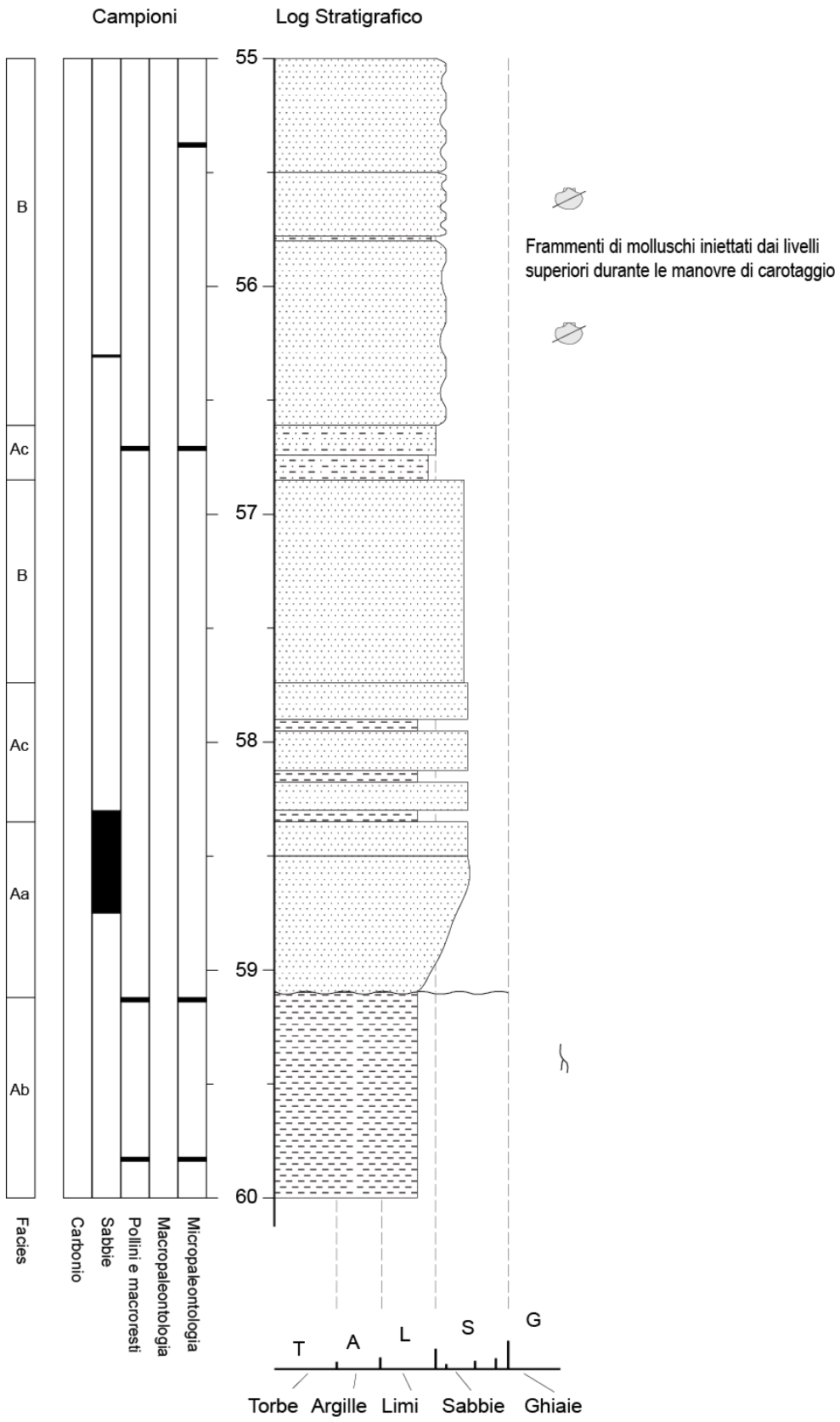

Campioni
Log Stratigrafico
30
31
32
33
34
35
Ad
Ad1
Ac
Ad1
B
Ac
Ad
Ad
Ad
31,88 m
42.025±525 cal BP
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

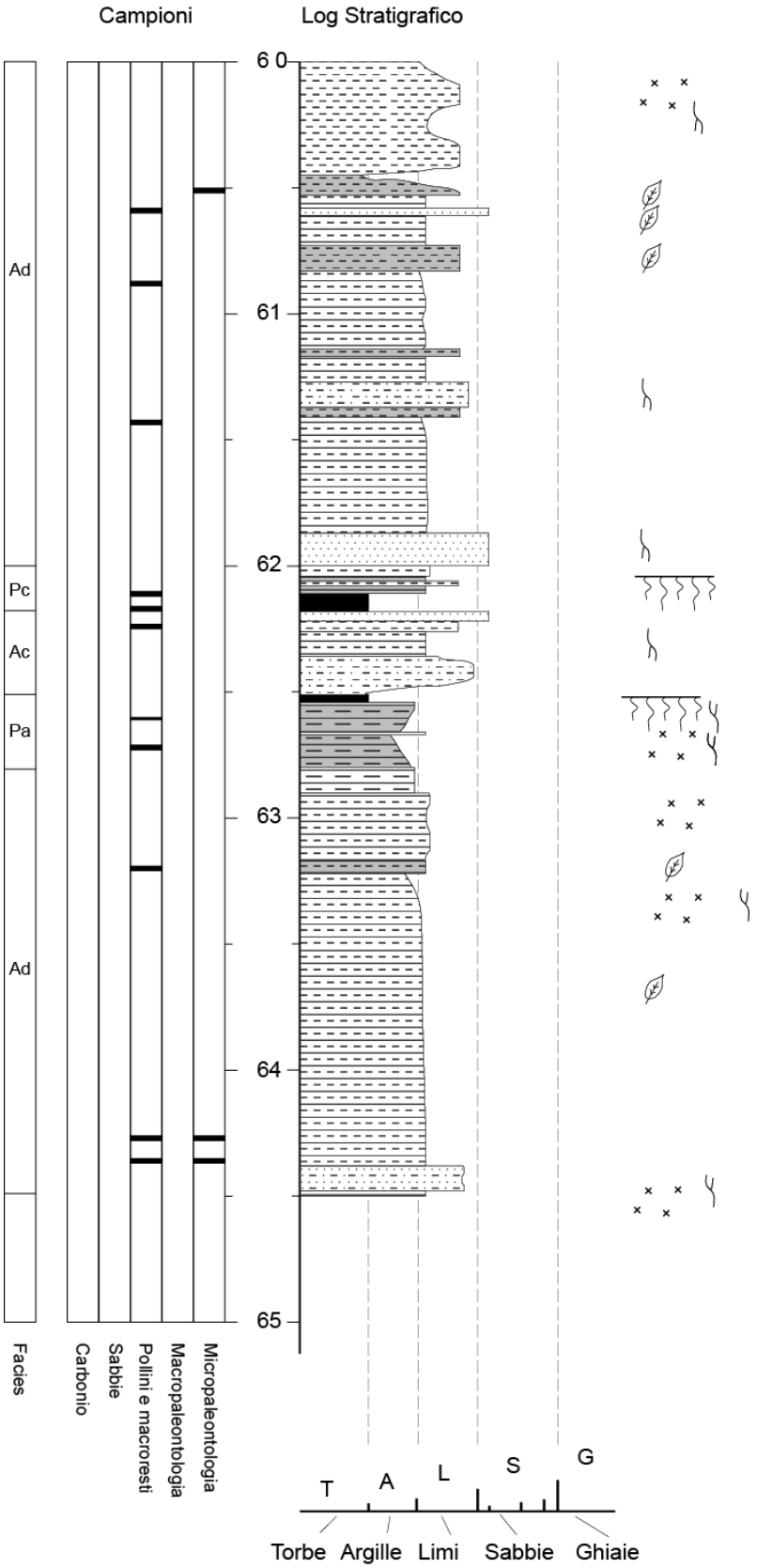

Campioni
Log Stratigrafico
35
36
37
38
39
40
Ad1
D1
D1
D1
D1
D1
Depositi Continentali
Depositi Marini
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
40
41
42
43
44
45
D1
D1
E
Ad1
D1
Cerastoderma
Depositi Marini
Depositi Continentali
Frammenti di molluschi
Depositi Continentali
Depositi Marini
Cerithium, Bittium
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
45
46
47
48
49
50
D1
D1
D1
D1
D1
E
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
E
Ad
B
Ad
Ac
Ad
Ac
B
50
51
52
53
54
55
Depositi Marini
Depositi Continentali
Gasteropodi continentali
Frammenti di molluschi iniettati dai livelli superiori durante le manovre di carotaggio
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
55
56
57
58
59
60
B
Ac
B
Ac
Aa
Ab
Frammenti di molluschi iniettati dai livelli superiori durante le manovre di carotaggio
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
6 0
61
62
63
64
65
Ad
Pc
Ac
Pa
Ad
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

5.3 Descrizione in dettaglio del sondaggio PNC1

64,50-64,48 m: Limi argillosi grigi con una concrezione carbonatica (2 mm).

64,48-64,38 m: Sabbie finissime limose con laminazione parallela millimetrica, forse debolmente bioturbate al tetto.

64,38-63,22 m: Limi argillosi (inferiore al 20%) grigi dalla base fino a 64,24 m molto più argillosi con rari frammenti vegetali millimetrici e probabile sostanza organica debolmente dispersa nella matrice. Al tetto presenti concrezioni carbonatiche dure (massimo 6 mm). Al tetto il limite è netto.

63,22-63,17 m: Orizzonte di limi argillosi organici di colore 2,5 Y 4/1. Presenza di frammenti vegetali millimetrici in parte anche piritizzati. Orizzonte disturbato dalla manovra.

63,17-62,90 m: Limi argillosi sterili (alla base inferiori al 20%, al tetto > 30%) con concrezioni carbonatiche centimetriche al tetto.

62,90-62,67 m: Argille limose alla base che divengono argille organiche al tetto con un arricchimento graduale, evidente da 62,80 m. Presenza di laminazione orizzontale e tracce di bioturbazione; si riconoscono lamine organiche scure sub-millimetriche. Concrezioni carbonatiche dure da 62,83 m verso il fondo, rare, dimensioni massime di 7 mm. Il limite superiore è netto.

62,67-62,66 m: Limi argillosi grigi sterili.

62,66-62,51 m: Argille limose organiche che divengono torbe al tetto negli ultimi 3 cm. Laminazione millimetrica evidente, in parte disturbata da bioturbazioni e con lamine organiche. A 63,00 top della manovra con avanzo di 40 cm poco disturbati con limi e limi argillosi laminati e presenza di concrezioni carbonatiche millimetriche. Nel suo complesso l'intervallo tra 62,51 e 63,17 m sembra quasi un suolo e formato dai seguenti orizzonti: 62,50 – 62,53 m (torba); 62,53 – 62,60 m (limi organici); 62,60 – 62,80 m (limi argillosi debolmente organici con evidenti bioturbazioni, con limite inferiore graduale; concrezioni carbonatiche centimetriche a 62.90 e 63,15 m).

62,51-62,26 m: Limi sabbiosi che dalla base divengono limi argillosi, ben evidenti da 62,36 m. Laminazione millimetrica alla base; presenza di tracce di radici al top piritizzate.

62,26-62,06 m: Intervallo variamente organico con torbe fittamente stratificate da 62,18 fino a 62,11 m. Orizzonte di limi argillosi sterili passanti a sabbie fini alla base da 62,22 a 62,18 m. Da 62,26 a 62,22 m limi mediamente organici che sfumano gradualmente nel limite sottostante. Da 62,11 a 62,08 m limi argillosi debolmente organici laminati. Da 62,08 a 62,06 m limi argillosi debolmente organici con al top frammenti torbosi organici. Limite superiore netto, leggermente disturbato dalla manovra.

62,06-62,02 m: Limi argillosi (inferiori al 20%) grigi, con laminazione poco evidente.

62,00-61,89 m: Sabbie fini limose inferiori ai 100 µm con laminazione millimetrica poco evidente, rare tracce di radici. Limite superiore netto.

61,89-61,43 m: Limi argillosi (da 20 a 30% di argilla) laminati con lamina organica di 2 mm a 62,82 m e masserella organica a 61,63 m. Verso il tetto, negli ultimi 4 centimetri, lamine organiche più frequenti e limite superiore graduale.

61,43-61,39 m: Limi organici alla base che passano a limi con laminazioni organiche al tetto.

61,39-61,19 m: Limi argillosi laminati che passano al tetto a limi argillosi debolmente sabbiosi con tracce di radici. Limite superiore netto.

61,19-61,16 m: Limi torbosi ben addensati e fittamente laminati.

61,16-60,85 m: Limi argillosi laminati con alcune lamine organiche sub-millimetriche più concentrate tra 60,91 e 60,90 m.

60,85-60,75 m: Limi debolmente organici con laminazione organica millimetrica e rari frammenti vegetali; al tetto e al letto limiti graduali.

60,75-60,55 m: Limi argillosi (20-25% di argilla) con livello debolmente sabbioso tra 60,63 e 60,60 m. Rari frammenti vegetali millimetrici.

60,55-60,47 m: Limi argillosi organici che al tetto passano a torbe.

60,47-59,10 m: Limi e limi argillosi laminati con lamine centimetriche di limo più grossolano (sabbie finissime) di colore biancastro. Rare radici piritizzate. A 60,24 m livelletto con presenza di concrezioni carbonatiche di 1 o 2 mm. Limite al tetto erosivo.

59,10-58,50 m: Sabbie di 350 µm in media con laminazioni bianche di limo e limo argilloso e al tetto la sabbia presenta una granulometria maggiore. Alla base c'è la manovra.

58,50-57,74 m: Alla base sabbie medie (350 µm) ben laminate; verso il tetto sono presenti intercalazioni di limo e limo argilloso con alcuni clasti pluri-millimetrici.

57,74-56,85 m: Sabbia media (350 µm) con intercalazioni di limo argilloso biancastre. A 57,00 m c'è la manovra.

56,85-56,74 m: Limo sabbioso

56,74-56,61 m: Sabbia debolmente limosa laminata

56,61-55,50 m: Sabbie da fini a medie con frammenti di conchiglie di bivalvi sparsi (?) che però sembrano "inspiegabili" stratigraficamente: si tratta molto probabilmente di frammenti iniettati dai livelli soprastanti durante le operazioni di carotaggio. A 55,78 m inclusione di limo sabbioso. A 55,50 m c'è la manovra.

55,50-50,00 m: Sabbie medie (250 µm) ben laminate.

55,00-54,00 m :Sabbie fini (tra 150 e 200 µm) con un intervallo tra 54,43 e 54,26 m di sabbia debolmente limosa. C'è la manovra a 54,00 m.

54,00-53,30 m: Limo sabbioso ben laminato con alcune lamine più scure.

53,30-53,00 m: Sabbia limosa ben laminata con lamine biancastre.

53,00-52,82 m: Limo argilloso

52,82-52,69 m: Argilla.

52,69-52,42 m: Limi argillosi debolmente sabbioso; manovra a 52,50 m.

52,42-52,39 m: Sabbia fine.

52,39-52,08 m: Sabbia limosa.

52,08-51,80 m: Limo sabbioso.

51,80-51,29 m: Limo argilloso ben laminato con livelletto a 51,70 m caratterizzato dalla presenza di frammenti di molluschi costieri che però sembrano "inspiegabili" stratigraficamente: si tratta molto probabilmente di frammenti iniettati dai livelli soprastanti durante le operazioni di carotaggio.

51,29-51,00 m: Sabbia fine con, a partire da 51,22 m, frammenti di molluschi continentali pluri-millimetrici. Manovra a 51,00 m. Essendo in testa manovra sicuramente vengono da porzioni più superficiali.

51,00-50,23 m: Strato di limi e limi argillosi con fitta laminazione millimetrica, probabilmente anche incrociata; si denota una certa ciclicità tra 51,00 e 50,70 m.

50,23-49,50 m: Limi sabbiosi con abbondanti frammenti di molluschi costieri pluri-millimetrici. Setacciato campione di sedimento tra 49,80 e 49,75 m con vaglio 149 µm. Frammenti di molluschi molto abbondanti millimetrici, alcuni esemplari interi di *Loripes lacteus* (2 esemplari da 1 cm con valve chiuse), *Venus*, *Nuculana* (?), Pettinidi e clasti ghiaiosi da 2 a 4 mm.

49,50-49,10 m: Sabbia fine debolmente limosa con laminazioni ben evidenti a cicli, con sparsi frammenti di molluschi.

49,10-48,90 m: Sabbie medio fini con abbondanza di frammenti di molluschi.

48,90-48,00 m: Limo argilloso (25% di argilla) ben laminato; presenza di materia organica (radici?); negli intervalli fra 48,88 e 48,85 m e da 48,80 a 48,70 m limi sabbiosi di colore 5 Y 4/1 e presenza di molluschi. A 48,60 m è presente *Chiostoma*.

48,00-46,80 m: Limo argilloso laminato, con resti di materia organica; tra 47,62 e 47,49 m limo sabbioso con resti di molluschi; da 47,49 a 47,39 m ci sono radici piritizzate.

46,80-46,64 m: Argilla limosa con presenza di frammenti di molluschi.

46,64-46,45 m: Limo argilloso laminato, con frammento di legno piritizzato. Al top resto vegetale centimetrico.

46,45-46,00 m: Limo molto argilloso con al letto frammenti di molluschi e a 46,10 m valva di *Cerastoderma* intera.

46,00-45,35 m: Mancato recupero.

45,35-44,08 m: Alternanza di limi argillosi e argilla ben laminata con laminazioni chiare e scure cicliche, forse incrociate (44,50 m). A 45,35 m concrezioni carbonatiche. Tra 44,44 e 44,40 m livelletto di sabbia fine. Al letto frammenti di molluschi tra 45,27 e 45,20 m tra cui si riconosce 1 *Cerithium*, 1 *Bittium* e molti gasteropodi turricolari tipo *Bythinia*, che indicano quindi ambiente lagunare.

44,08-43,69 m: Limi argillosi con sparsi resti vegetali; a 43,78 m forse presente un frammento di legno.

43,69-43,66 m: Livelletto di sabbie fini con resti di molluschi centimetrici. Ma si tratta quasi sicuramente di disturbo dovuto alla manovra, in quanto sono ben riconoscibili convoluzioni per il campionamento. Si può quindi escludere che si tratti di uno strato di sabbie legate a *washover*. Tutto lo spezzone tra 43,50 e 43,69 m è appare un po' disturbato, anche se si può presumere che si trattasse di limi argillosi come strato soprastante. Limite inferiore probabilmente erosivo.

43,66-43,52 m: Limo argilloso con presenza di "clasti" di materia organica, rimaneggiati dalla manovra.

43,52-43,39 m: Argilla con possibile laminazione incrociata.

43,39-43,00 m: Alternanza di limi argillosi-torbosi fino ad arrivare a torba verso il top.

43,00-42,56 m: Limo argilloso con alla base frammenti di molluschi e al tetto limite erosivo.

42,56-42,42 m: Sabbie da fini a medie con un clasto di 1 centimetro e frammenti di molluschi pluri-centimetrici (massimo 5 centimetri) (Pettinidi, *Venus*, *Ostrea*, ecc.). Trattasi probabilmente di evento

di *washover* fan che testimonierebbe quindi lo sfondamento da parte del mare dell'isola di barriera che difendeva la laguna.

42,42-42,17 m: Sabbie da fini a medie con sparsi frammenti di molluschi.

42,17-41,60 m: Limo argilloso (20% di argilla); da 41,68 a 41,60 m sono presenti frammenti di molluschi (*Cerastoderma*).

41,60-40,72 m: Alternanza di limo sabbioso e sabbia debolmente limosa con evidente laminazione orizzontale alla base; rari resti di molluschi millimetrici; a 40,93 m resto di materia organica (legno?).

40,72-40,57 m: Sabbia debolmente limosa di colore più scuro per diffusa materia organica.

40,57-39,00 m: Alternanza di sabbia fine e limi sabbiosi con livelli più organici (40,45; 40,34; 39,70; 39,65 m) evidenziati dalla laminazione; manovra a 40,50 m.

39,00-38,68 m: Sabbia fine laminata che evidenzia livelli più organici e radici.

38,68-38,62 m: Livello di limo sabbioso organico con frammenti di legno.

38,62-37,50 m: Sabbia fine uniforme (per estrusione) con rari frammenti millimetrici di molluschi, fra cui uno di *Venus*.

37,50-37,00 m: Sabbie fini con laminazione orizzontale e forse anche incrociata; presenti radici piritizzate.

37,00-36,70 m: Strato con limi argillosi e argille limose con rari frammenti di radici piritizzate. Tra 36,80 e 36,70 mi presenza di molluschi bianchi a guscio fine, tra cui 1 bivalve ancora in connessione di dimensioni fra 3 e 5 mm e 1 gasteropode turricolare tipo *Bythinia*. Sembrerebbero indicare ambiente lagunare.

36,70-36,53 m: Sabbie da medie a fini.

36,53-36,48 m: Torba.

36,48-36,42 m: Argilla.

36,42-35,77 m: Sabbie medio fini che da 36,00 a 35,77 m sono ben addensate e laminazione evidente; a 35,84 m lamina di torba.

35,77-35,12 m: Strato di torba; livello argilloso tra 35,44 e 35,40 m.

35,12-34,60 m: Limo argilloso (20%) con un frammento vegetale millimetrico a 34,92 m Manovra meccanica a 34,50 m.

34,60-34,20 m: Argille limose sparsi frammenti vegetali millimetrici (radici).

34,20-33,10 m: Limi argillosi con concrezioni carbonatiche anche centimetriche fra 33,60- 33,35 mi. Frammento vegetale (radice) a 33,30 m.

33,10-32,60 m: Limi grossolano e sabbia finissima con evidente laminazione planare e talora anche ondulata, presenti rare concrezioni millimetriche.

32,60-32,55 m: Livello di argilla organica deformata dalla manovra. Colore Gley 2,5\N.

32,55-32,30 m: Limo grossolano e sabbie fini e concrezioni carbonatiche. Al tetto sono presenti rari resti vegetali a 33,00 m manovra.

32,30-32,12 m: Limi argillosi con laminazioni (bioturbazioni?) di colore 2,5Y 4\2. le laminazioni hanno colore Gley 2,5\N.

32,12-32,06 m: Strato di argilla organica di colore come il precedente Gley 2,5\N.

32,06-31,90 m: Strato di torbe (perse una piccola parte intorno ai 32,00 m).

31,90-31,50 m: Argille limose nei primi 5 cm con lanimazioni organiche rade millimetriche, passanti a limi argillosi con intercalazioni di sabbia molto fine ala basa. Manovra a al tetto.

31,50-31,00 m: Sabbie medio fini con laminazioni planari alla base.

31,00-30,75 m: Strato di sabbie fini con materia organica (argilla organica scura). Limite graduale con lo strato sovrastante.

30,75-30,55 m: Argilla organica di colore Gley 2,5\N.

30,55-30,45 m: Intervallo di torbe.

30,45-30,00 m: Limi argillosi con alla base intervallo di sabbia fine (fino a 30,42 m) e altre intercalazioni sabbiosi fini sono presenti masse argilla organica con al tetto la tesata della manovra (mancato recupero di 30 cm).

30,00-29,65 m: Strato di torbe con presenza di argille organiche al tetto.

29,65-29,45 m: Limi argillosi (30%)

29,45-29,10 m: Limi sabbiosi con intercalazioni di argille limose con laminazioni planari tra cui forse qualcuna ondulata. Al tetto c'è un in intervallo di sabbie fini di 5 cm.

29,10-29,04 m: Limo argilloso con nodulo torboso e sabbia fine adiacente.

29,04-29,00 m: Sottile strato di argilla torbosa.

29,00-28,85 m: Intervallo di sabbie medio fini con lamine organiche.

28,85-28,50 m: Limi argillosi con livelli organici tra 28,85 e 28,82 m; tra 28,67 e 28,65 m. Incluso torboso a 28,75 m. probabile livello deformato dalla manovra. Manovra a 28,50 m.

28,50-27,85 m: Limi argillosi (argilla al 30%) passanti ad argille limose sempre più ricche di materia organica (tracce di radici) a partire da 28,22 m. Al tetto le argille diventano più scure di colore 2,5Y 4\2.

27,85-27,50 m: Alternanza di argille torbose e torbe argillose con intercalazioni di argilla grigio chiare con lamine organiche.

27,50-27,35 m: Argille limose.

27,35-27,18 m: Strato di torbe fino a 27,28 m e poi argille organiche scure.

27,18-27,00 m: Con Top a 27,00 m. Livello di limi argillosi con presenza di frammenti di resti vegetali e di frammenti di molluschi (gasteropodi continentali a guscio fine e biancastro all'interno mentre il guscio esterno è marroncino).

27,00-26,70 m: Livello di torbe e argille torbose con intercalazioni di argille grigio chiare.

26,70-26,15 m: Strato di sabbie medio fini con incluso argilloso a 26,35 m.

26,15-25,50 m: Sabbie fini (in media 200 µm) con intraclasti probabilmente dovuti alla manovra a 25,50 m.

25,50-25,20 m: Strato di sabbie fini con laminazioni planari millimetriche.

25,20-24,85 m: Sabbie fini rimaneggiate con inclusi limi argillosi.

24,85-24,70 m: Livello di sabbia limosa.

24,70-24,00 m: Sabbia fine rimaneggiata per liquefazione. Manovra a 24,00 m.

24,00-22,15 m: Sabbie limose fino a 23,40 m passanti poi a limi con intervalli centimetrici di sabbie limose.

22,15-22,10 m: Torbe argillose.

22,10-22,00 m: Argille limose.

22,00-20,70 m: Limi e limi argillosi.

20,70-20,55 m: Strato di torbe con al tetto argille organiche più chiare.

20,55-20,45 m: Limi argillosi (20%).

20,45-20,25 m: Sabbie fini.

20,25-19,78 m: Limi argillosi (25%).

19,78-19,68 m: Argille limose debolmente organiche con limite superiore forse bioturbato.

19,68-19,54 m: Limi argillosi (inferiore al 25%).

19,54-19,00 m: Sabbie molto fini in alternanze con limi argillosi.

19,00-18,25 m: Limi argillosi laminati in alternanza con limo.

18,25-17,30 m: Sabbie molto fini con limi sabbiosi in alternanza.

17,30-17,00 m: Limi debolmente sabbiosi

17,00-16,50 m: Mancato campionamento; tra 16,50 e 18,00 m segnalato disturbo nella manovra.

16,50-15,00 m: Sabbie fini (200 µm) rimaneggiate da manovra.

15,00-14,50 m: Sabbie fini 200 µm passanti a sabbie limose al tetto; evidente laminazione negli ultimi 20 cm verso il bottom.

14,50-13,20 m: Limi debolmente sabbiosi con rari livelli centimetrici argillosi limosi a 13,90; 13,80; 13,71; 13,62 m.Tracce di radici al tetto e macro resti organici a 13,96 m forse da decomposizione radici.

13,20-12,75 m: Limi argillosi passanti ad argille limose progressivamente più ricche di frazione organica; comuni tracce di radici anche come macro resti. limite superiore netto.

12,75-12,51 m: Argille con tracce di radici e livello debolmente organico a 12,62 m.

12,51-12,42 m: Livello organico argilloso con torbe tra 12,47 e 12,50 m.

12,42-12,15 m: Argille e argille limose con livello debolmente organico da 12,30 a 12,32 m. Frammenti vegetali e tracce di radici.

12,15-12,00 m: Limi argillosi debolmente organici passanti ad argille organiche con macro resti vegetali al tetto. al bottom frammenti di pulmonata.

12,00-11,05 m: Argille fino a 11,05 m con rare lamine limose grossolane

11,05-10,34 m: Alternanze centimetriche di limi argillosi, limi e argille; laminazione millimetrica.

10,34-10,20 m: Limi argillosi organici che sono torbosi fra 10,25 e 10,22 m.

10,20-10,00 m: Argille limose.

10,00-9,92 m: Argille debolmente organiche con tracce di radici.

9,92-9,78 m: Torbe fittamente stratificate.

9,78-9,40 m: Argille limose debolmente organiche con tratto limoso sterile da 9,61 a 9,51 m.

9,40-8,80 m: Argille limose laminate con rare lamine di limo grigio grossolano.

8,80-8,00 m: Limi argillosi debolmente sabbiosi passanti a sabbie con limo e sabbie fini al top (<100 µm). Laminazione evidente.

8,00-7,40 m: Argille limose in alternanze con limi fino a 7,80 m.

7,40-6,85 m: Argille limose debolmente organiche con rari macro frammenti vegetali millimetrici ed orizzonte con macro resti vegetali tra 7,40 e 7,38 m. Limite superiore graduale forse bioturbato.

6,85-6,30 m: Argille con livello debolmente organico tra 6,61 e 6,85 m, forse era torba già campionata. Frammento di pulmonata a 6,65 m.

6,30-6,05 m: Limi debolmente sabbiosi in alternanza con limi argillosi.

6,05-5,64 m: Argille con debole sostanza organica dispersa verso il tetto.

5,64-5,45 m: Intervallo organico con torbe fra 5,49 e 5,45 m; fra 5,61e 5,55 m.

5,45-4,90 m: Argille debolmente organiche con livello più organico da 5,15 a 5,08 m. A 5,07 m frammento di pulmunata verso il tetto e lamine con frammenti vegetali millimetrici.

4,90-4,62 m: Limi argillosi organici in alternanze centimetriche con torbe.

4,62-3,00 m: Argille e argille limose sterili debolmente laminate. macroresti vegetali da 4,44 a 4,38 m.

3,00-2,05 m: Limi argillosi e argille limose fittamente laminate con lamine di limo grossolano biancastro.

2,05-0,65 m: Alternanze centimetriche di limi argillosi, limi e limi sabbiosi fini con evidente laminazione.

0,65-0,25 m: Come strato sottostante ma con concrezioni carbonatiche e noduli di Fe-Mn.

0,25-0,00 m: Riporto antropico di ghiaie.

5.4 Descrizione sedimentologica, sintesi stratigrafica (PNC1)

64,50-59,10 m

Alternanza di limi sabbiosi con limi argillosi in strati da pluri-centimetrici a decimetrici. Alla base del sondaggio ci sono sabbie finissime laminate. In questo intervallo si trovano vari orizzonti organici: 63,22-63,17 m; 62,66-62,51 m; 62,26-62,06 m; 61,43-61,39 m; 61,19-61,16 m; 60,85-60,75 m e 60,55-60,47 m. Si nota una diffusa presenza di macroresti vegetali e tracce di bioturbazioni. I livelli con le concrezioni carbonatiche sono orizzonti calcici legati alla formazione di alcuni suoli debolmente sviluppati, che sono legati ai due livelli torbosi posti a 62,53-62,50 m e 62,18-62,11 m, probabilmente interpretabili come degli histosuoli. Questi profili pedogenetici sono simili a quelli presenti sopra i 30,00 m.

L'intervallo rappresenta probabilmente la bassa pianura fluvioglaciale risalente alla penultima glaciazione (fine del MIS 6). Al tetto è presente una superficie erosiva di natura alluvionale di limitata importanza.

59,10-50,23 m

Intervallo caratterizzato fino a 54,00 m da alternanze di sabbie fini e limi sabbiosi sterili con presenza di laminazioni, anche incrociate, dovute a strutture trattive tipo *ripple*. Sopra i 54,00 m si passa ad un'alternanza centimetrica di sabbie fini, limi sabbiosi e limi argillosi fino ad argille limose nel livello 52,82-52,69 m. La presenza di gusci di molluschi marini a 56,30 m e gli altri rari a 55,60 e 51,70 m è probabilmente imputabile a disturbi avvenuti durante le operazioni di carotaggio (materiale iniettato lungo fratture della carota).

L'intervallo è riferibile alla pianura alluvionale formatasi durante la penultima glaciazione MIS 6 o nel periodo immediatamente successivo, ma prima della trasgressione marina tirreniana. Al tetto è presente l'importante discontinuità erosiva su cui poggiano i depositi marini soprastanti.

50,23-43,69 m

Intervallo caratterizzato alla base da una discontinuità erosiva di ambiente marino, sopra cui sono presenti fino a 49,50 m limi sabbiosi con abbondanti frammenti di molluschi costieri pluri-millimetrici e clasti ghiaiosi di 2-4 mm. Corrisponde alla superficie di ravinement che demarca la trasgressione marina avvenuta nel MIS 5, verosimilmente nel MIS 5.5. L'intervallo è caratterizzato da alternanze di limi sabbiosi e sabbie fini limose in strati pluri-centimetrici, con presenza di laminazioni chiare e scure cicliche, forse incrociate, dovute a strutture trattive tipo *ripple*presenti da 50,23 m a 46,80m. Al di sopra dei 49,00 m ci sono livelli organici (48,90-48,00 m e resti organici fra 48,00 e 47,62 m). I livelli appaiono di dimensioni pluri-centimetriche e decimetriche con tracce di bioturbazioni e qualche resto vegetale, fra cui un frammento di legno nel livello 46,64-46,45 m. In tutto l'intervallo ci sono frammenti di gusci di molluschi marini,

tipicamente lagunari, che diventano più abbondanti sopra i 49,10 m. Da 46,00 a 45,35 m c'è un mancato recupero del campione.
L'intervallo è interpretabile come una sequenza di ambiente lagunare, data dall'alternanza tra facies di canale e piana lagunare. E' possibile che i depositi alla base corrispondano a depositi di spiaggia, di cui però sono rimasti solo pochi centrimetri/decimentri. Le variazioni di facies sono compatibili con i cambiamenti paeloambientali legati alle modifiche autocicliche del reticolo lagunare.

43,69-42,56 m

Alla base dell'intervallo c'è un piccolo spessore di sabbie finiche potrebbe essere una discontinuità importante. Successivamente si passa da limi argillosi ad argille limose fino a 43,39 m. Da 43,39 a 43,00 m c'è un alternanza di limi più o meno argillosi con materia organica diffusa che passa negli ultimi centimetri a torba. Da 43,00 m al top dell'intervallo ci sono limi argillosi con alcuni frammenti di gusci di molluschi marini. La presenza di livelli organici e di torbe indicano sicuramente una stasi deposizionale.
Nel complesso questo intervallo rappresenta una variazione paleoambientale che demarca il passaggio dal precedente ambiente costiero lagunare a quello probabilmente continentale palustre; corrisponde quindi a un cambio del livello marino relativo. Al momento non è chiaro se si tratti di una variazione paleogeografica che ha condotto ad una progradazione della pianura alluvionale rispetto alla laguna, oppure se possa coincidere con un abbassamento del livello marino globale. Nel primo caso questo intervallo sarebbe ancora appartenente al MIS 5.5 e si spiegherebbe con un cambiamento della geografia della zona legato all'evoluzione della laguna; invece, nel secondo caso, il cambiamento riconosciuto potrebbe coincidere con il passaggio al MIS 5.4 e l'intervallo corrisponderebbe alla regressione avvenuta in quel substage, ossia il primo stadiale post-eemiano. La determinazione cronologica precisa potrebbe essere effettuata tramite lo studio pollinico di questo strato.

42,56-35,77 m

Alla base dell'intervallo è presente una discontinuità che potrebbe rappresentare la fine del substage MIS 5.4. Da 42,56 a 41,60 m c'è un'alternanza di limi argillosi e sabbie fini con la presenza di frammenti di gusci di molluschi marini. Da 41,60 a 39,00 alternanza di limi sabbiosi, sabbie limose e sabbie fini che successivamente passa a sabbie fini con tracce di radici, macroresti vegetali e frammenti di legno fino a 37,00 m.
Livelli centimetrici di limi argillosi fino a 36,70 m con tracce di radici e frammenti di gusci di molluschi marini. Poi ancora alternanze di sabbie più o meno fini fino a 35,77. Orizzonte torboso nel livello 36,53-36,48 m.
Probabilmente è ipotizzabile che l'ambiente lagunare nel quale sono stati deposti questi sedimenti sia stato influenzato da fenomeni di washover che hanno determinato l'alternanza di sedimenti fini con sedimenti grossolani come è osservabile nella carota.

Il washover è un fenomeno comune in molti ambienti lagunari, per l'erosione dei cordoni litoranei provocata da piene di marea o onde ad alta energia, come ad esempio le onde di tempesta.
Infatti le onde rompono e penetrano al di là della barriera, così che l'acqua del mare forma un conoide di depositi marini chiamato washover fan.
Probabilmente questo intervallo rappresenta gli stadi finali del MIS 5.5,ma potrebbe anche corrispondere alle trasgressioni verificatesi nei substage del MIS 5 successivi al 5.5, ossia il 5.3 o il 5.1.

Per l'intervallo complessivo posto a 50,23-35,77 m si propone l'ipotesi che questa successione di strati possa rappresentare verosimilmente il MIS 5 e che gran parte sia più precisamente risalente alla trasgressione tirreniana; infatti è possibile che l'intervallo 43,69-42,56 m non sia risalente al substage 5.4, ma bensì rientri ancora nel substage 5.5. Solo le analisi dei pollini effettuate sui campioni prelevati dalla carota potranno dire se sono sedimenti deposti in ambiente con condizioni calde o fredde.

35,77-35,00 m
Torbe fino a 35,12 m poi limi argillosi. Intervallo che indica un probabile ambiente alluvionale di tipo palustre che perdurò per un considerevole periodo di tempo. Questi sedimenti potrebbero indicare dei depositi appartenenti al MIS 4, ma nella maggior parte dei sondaggi effettuati nella bassa pianura friulana e nelle aree adiacenti a Venezia i depositi di questo periodo sono molto poco presenti e talvolta del tutto assenti (Fontana et al., 2012); quindi potrebbero trattarsi di depositi appartenenti al MIS 3.

35,00-26,70 m
Fino a 33,10 m alternanza centimetrica di limi argillosi e argille limose con presenza di macroresti vegetali e tracce di radici. Successivamente fino a 32,30 m alternanze di limi sabbiosi e sabbie fini con abbondante presenza di concrezioni carbonatiche, orizzonte di argilla organica 32,60-32,55 m. Livelli più fini di limi argillosi e argille limose fino a 31,50 m con torbe fra 32,06 e 31,90 m. Strati centimetrici di sabbie fini laminate fino a 30,75 m con un progressivo aumento di materia organica. Infine fino a 30,30 m si passa da argille a torbe con un mancato recupero del campione di 30 cm. Da 30,00 a 29,45 m si passa da torbe ad argille limose.
Da 29,45 a 28,85 m si passa da limi a sabbie fini con un sottile strato organico a 29,04-29,00 m di argilla torbosa; che passano fino a 28,85 m ad alternanze di limi argillosi in strati centimentrici, mentre da 28,22 m i livelli diventano nettamente organici. Da 27,85 a 27,50 m alternanza di argille torbose e torbe argillose in livelli centimetrici con argilla limosa nel livello 27,50-27,35 m.
Livello di torba fra 27,35 e 27,28 m che passa ad argille limose organiche fino a 27,18 m.Livello di limi argillosi 27,18-27,00 con presenza di frammenti di resti vegetali e di frammenti di molluschi (gasteropodi continentali a guscio fine e biancastro all'interno mentre il guscio esterno è marroncino).

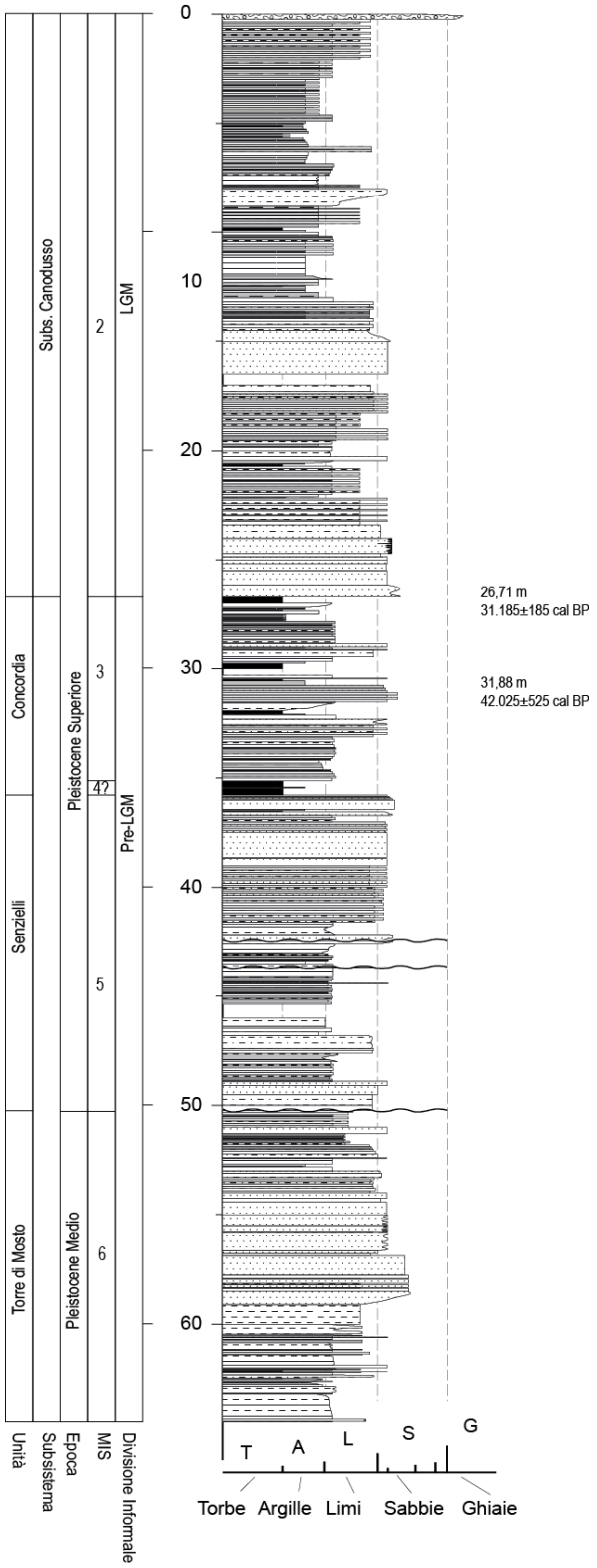
Da 27,00 a 26,70 m livello di torbe e argille torbose.
Depositi di natura alluvionale in facies di piana d'esondazione sedimentati durante la fase finale del MIS 3.
Alla profondità di 31,88 e 26,71 m sono stati prelevati dei campioni di torba che datati con il metodo del radiocarboniohanno fornito rispettivamente una età di 37.205±300e di26.725±150 anni BP; la calibrazione di queste datazioni ci fornisce delle età di 42.025±525 e di 31.185±185 anni cal BP.
Alla profondità di 26,70 m c'è la base dei depositi del LGM.

26,70-0,00 m
L'intervallo visualizza molto bene la base del LGM che separa i depositi appartenenti al periodo del MIS 3 con i sedimenti depositati nel LGM.
L'intervallo comprende strati di sabbia pluri-decimetrici fino a 25,00 m che poi si alternano con limi sabbiosi e limi fino a 22,15 m.
Al di sopra di questi livelli ci sono alternanze centimetriche di limi argillosi, limi e intervalli con limi sabbiosi e sabbie fini. Possibile presenza di suoli sepolti nei livelli (20,70-20,55 m; 12,50-12,00 m; 10,34-10,20; 7,40-6,85 e 5,45-4,90m).
Orizzonti organici di una certa importanza a 22,15-22,10 m, 20,70-20,55 m, 19,78-19,68, 12,51-12,42 m, 10,34-10,20 m e 9,92-9,78 m. Corpo sabbioso di potenza più significativa nel livello 16,50-14,50 m.
Le caratteristiche sedimentologiche denotano i sedimenti di questo intervallo come depositi alluvionali in facies di piana d'esondazione e secondariamente di canale, legati a fiumi di tipo braided sabbiosi, attivi durante il LGM.
Nell'intervallo 8,00-4,62 m si osserva un'alternanza di limi argillosi, argille limose e torbe con intercalazioni di limi sabbiosi da millimetrici a centimetrici. I livelli organici più importanti si trovano nei livelli 7,40-6,85 m e 5,64-4,62 m. Generalizzata presenza di macroresti vegetali e frammenti di gusci di molluschi continentali.
Gli ultimi metri del sondaggio da 4,62 a 0,00 m mostrano un terreno rimaneggiato.
Dalla superficie fino a 2,00 m di profondità alternanza centimetrica di limi argillosi e argille che passano ad alternanze sempre centimetriche di limi argillosi, limi e limi sabbiosi. Nel primo metro di sottosuolo ci sono concrezioni carbonatiche e noduli di Fe-Mn.

L'intervallo tra 29,45-0,00 m del sondaggio corrisponde sicuramente ad un ambiente di sedimentazione continentale.
Le caratteristiche sedimentologiche denotano i sedimenti di questo intervallo come depositi alluvionali in facies di piana d'esondazione e secondariamente di canale, legati a fiumi di tipo braided sabbiosi, attivi durante il LGM. La presenza di numerosi intervalli organico-torbosi corrisponde a periodi più o meno prolungati di stasi deposizionale coincidenti con il periodo in cui nell'area si svilupparono paludi con accumulo di materia organica.

PNC1

Log Stratigrafico



6 Carotaggio BLG1

Il sondaggio BLG1 è stato perforato presso l'azienda agricola Ca' Tullio in località Beligna di Aquileia (UD) alle coordinate 45°,7485 N, 13°,3666 E, fra il 24 e il 26 Giugno 2008. La profondità raggiunta dal sondaggio è di 60 m dal piano campagna posto a 2,0 m s.l.m.
Durante le operazioni di descrizione delle carote sono stati campionati numerosi intervalli per eventuali studi paleontologici, palinologici, radiocarbonici e petrografici. Di questi solo una minima parte è già stata analizzata. L'elenco completo dei campioni prelevati si trova nel paragrafo 4.3.1.

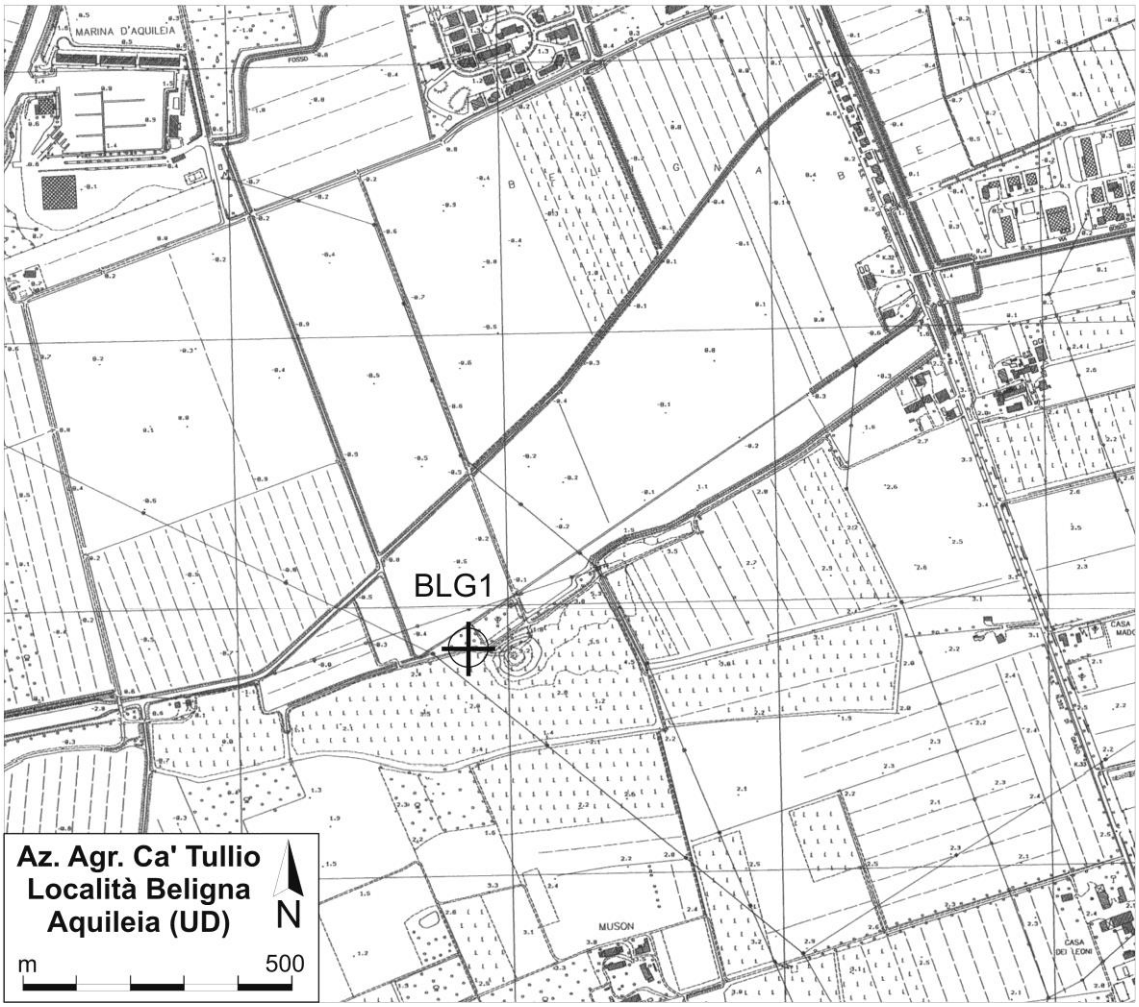
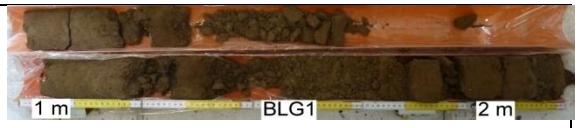
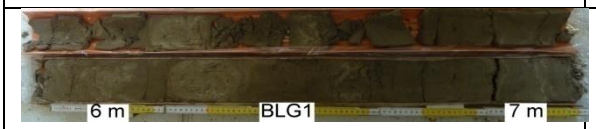
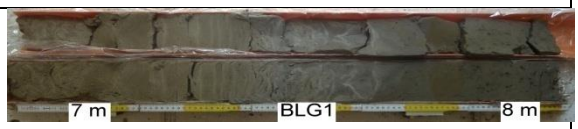


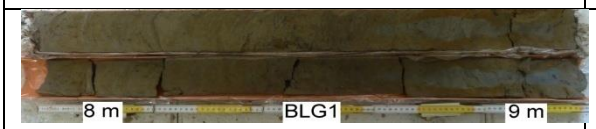
Fig. 6.1 Ubicazione sondaggio BLG1.

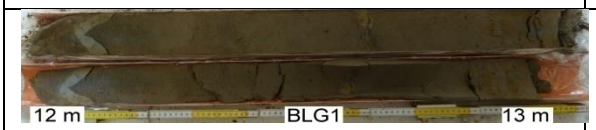
6.1 Fotografie sondaggio BLG1

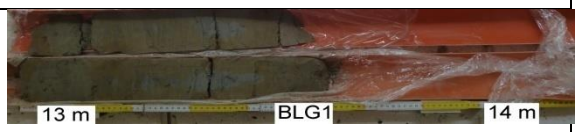




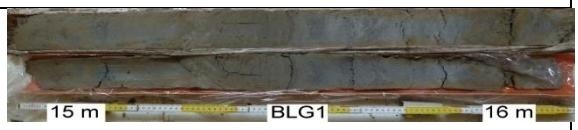


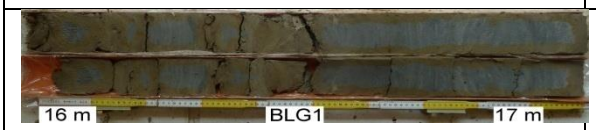


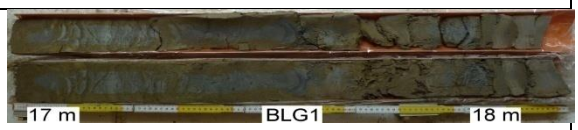


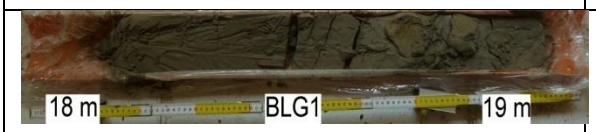


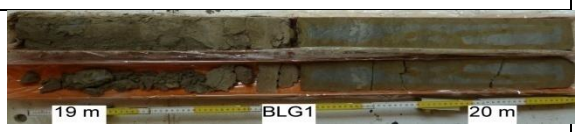
MANCATO RECUPERO

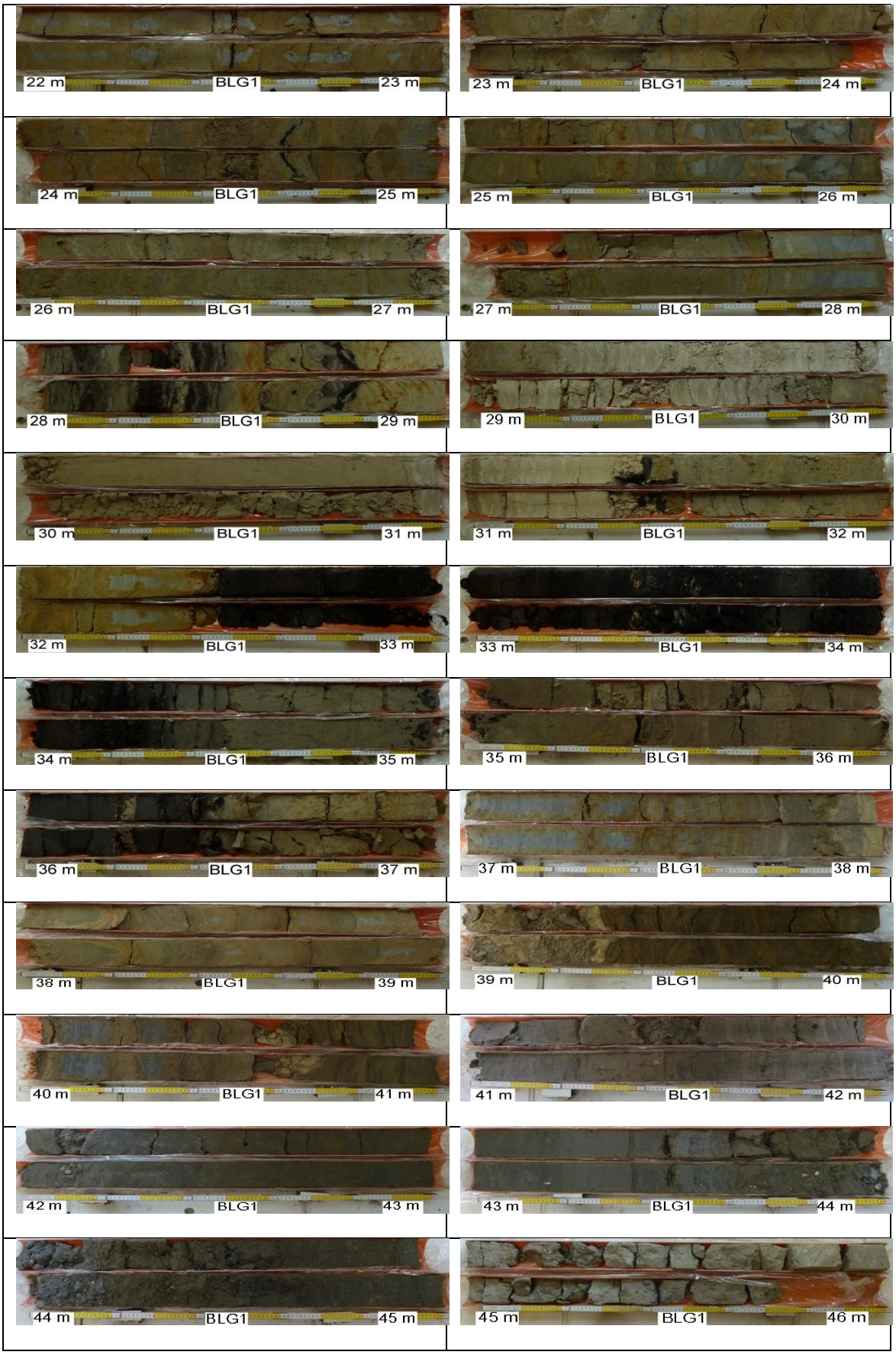


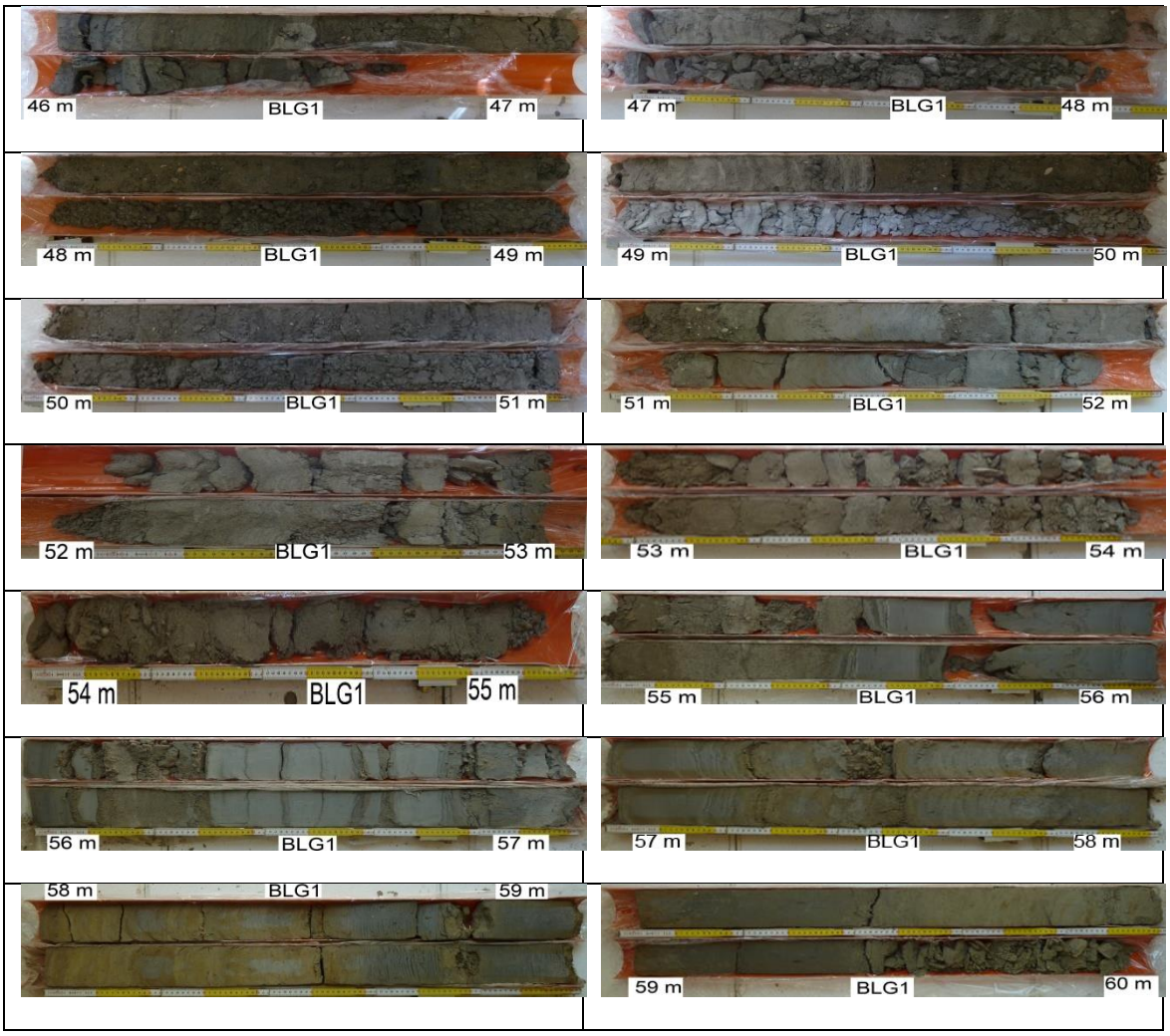




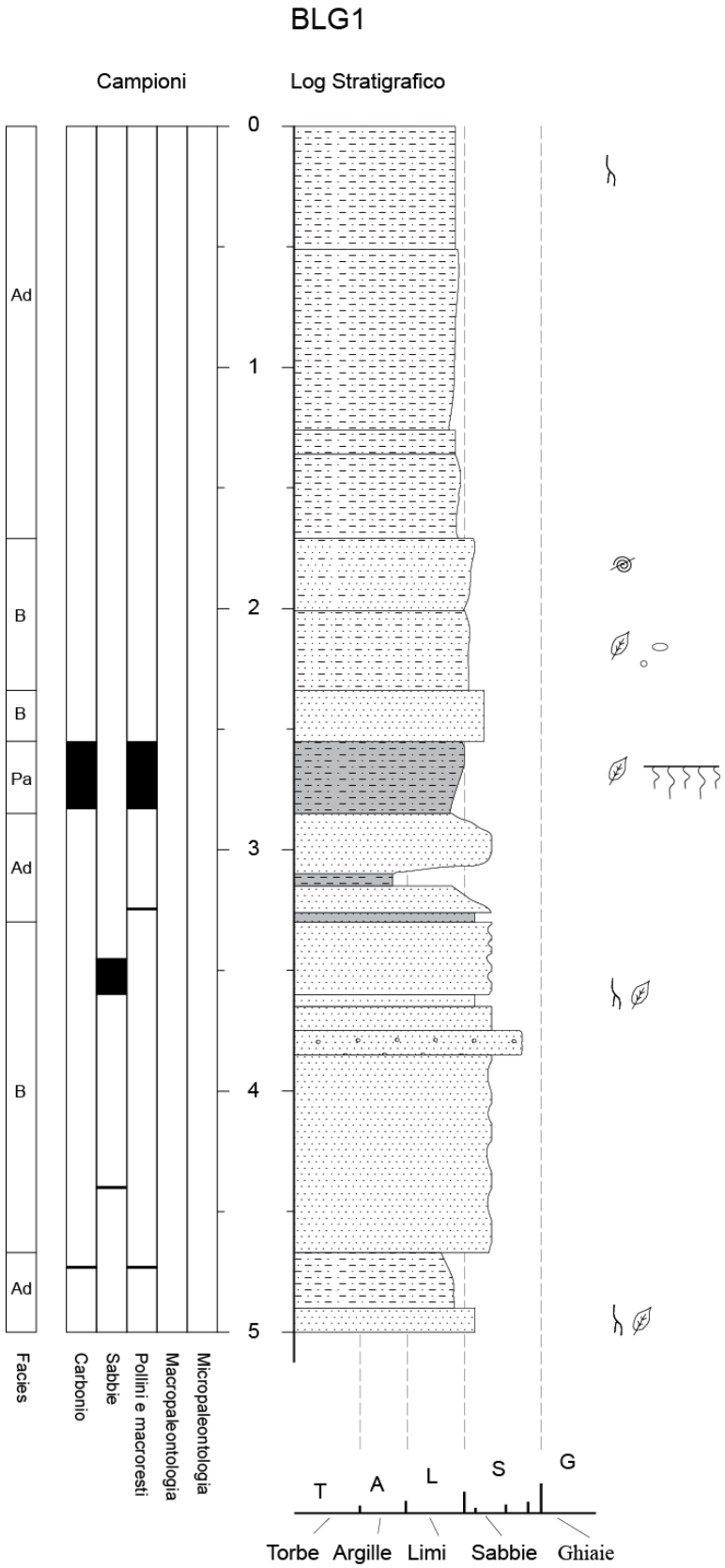


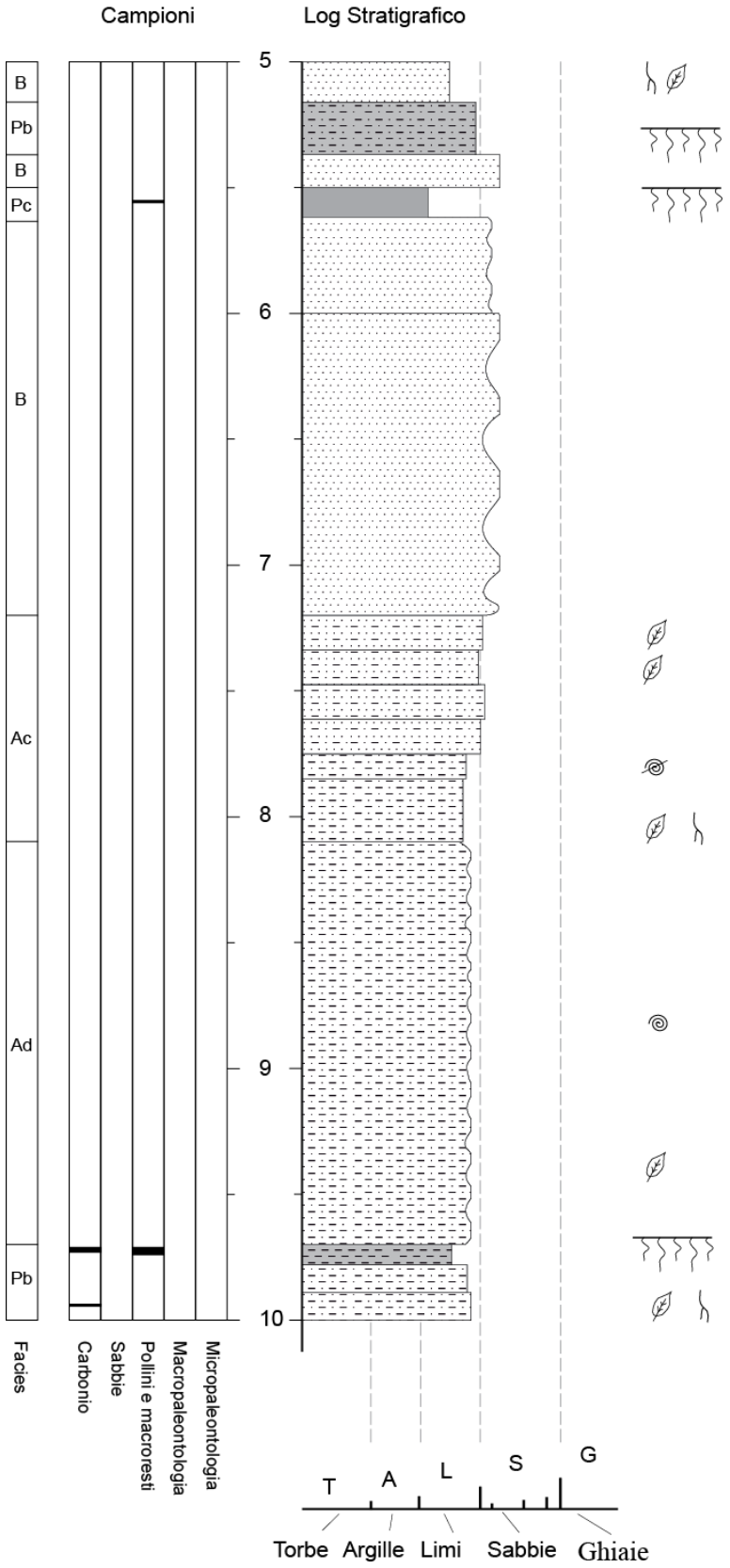


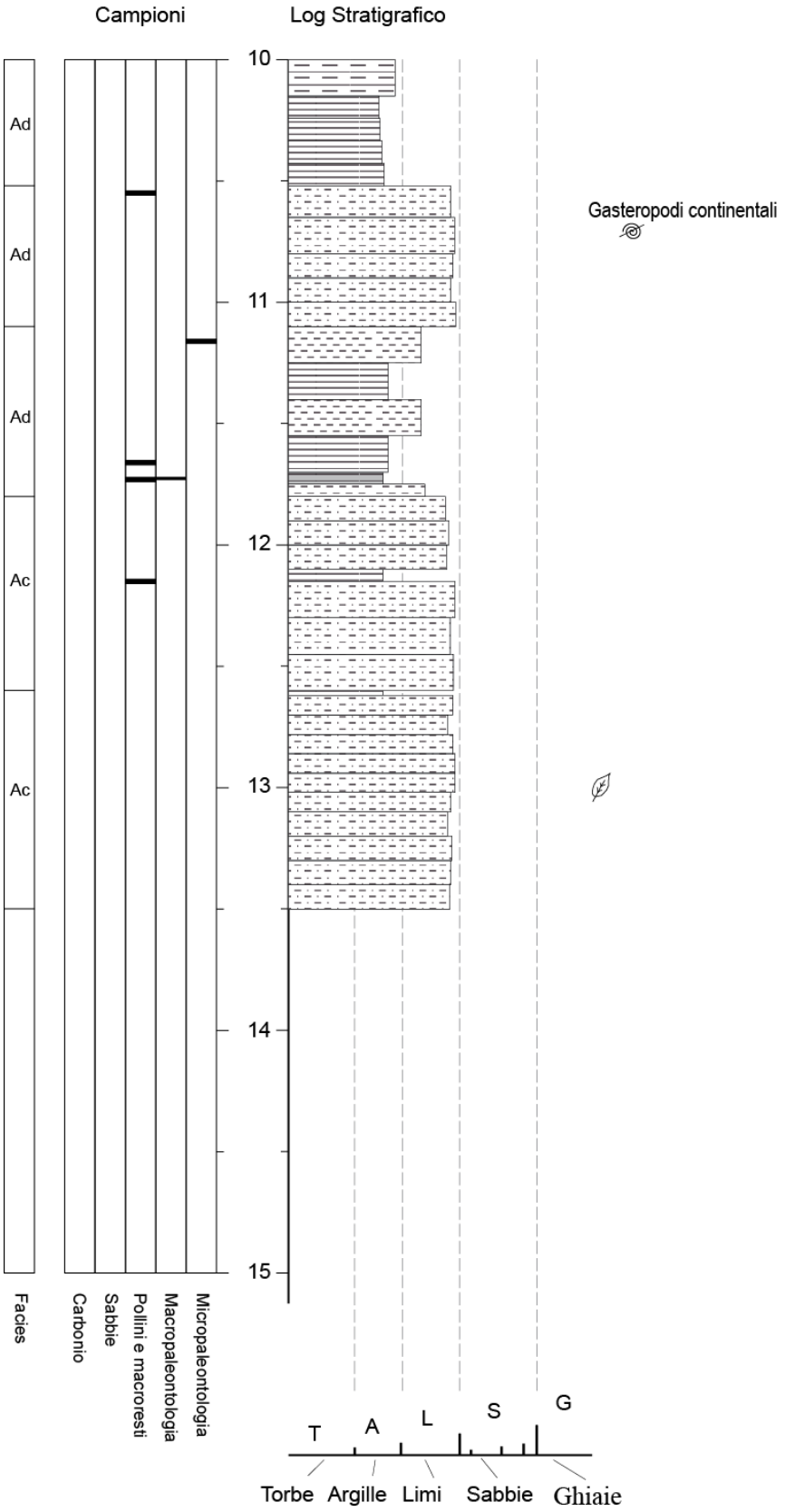

22 m BLG1 23 m
23 m BLG1 24 m
24 m BLG1 25 m
25 m BLG1 26 m
26 m BLG1 27 m
27 m BLG1 28 m
28 m BLG1 29 m
29 m BLG1 30 m
30 m BLG1 31 m
31 m BLG1 32 m
32 m BLG1 33 m
33 m BLG1 34 m
34 m BLG1 35 m
35 m BLG1 36 m
36 m BLG1 37 m
37 m BLG1 38 m
38 m BLG1 39 m
39 m BLG1 40 m
40 m BLG1 41 m
41 m BLG1 42 m
42 m BLG1 43 m
43 m BLG1 44 m
44 m BLG1 45 m
45 m BLG1 46 m

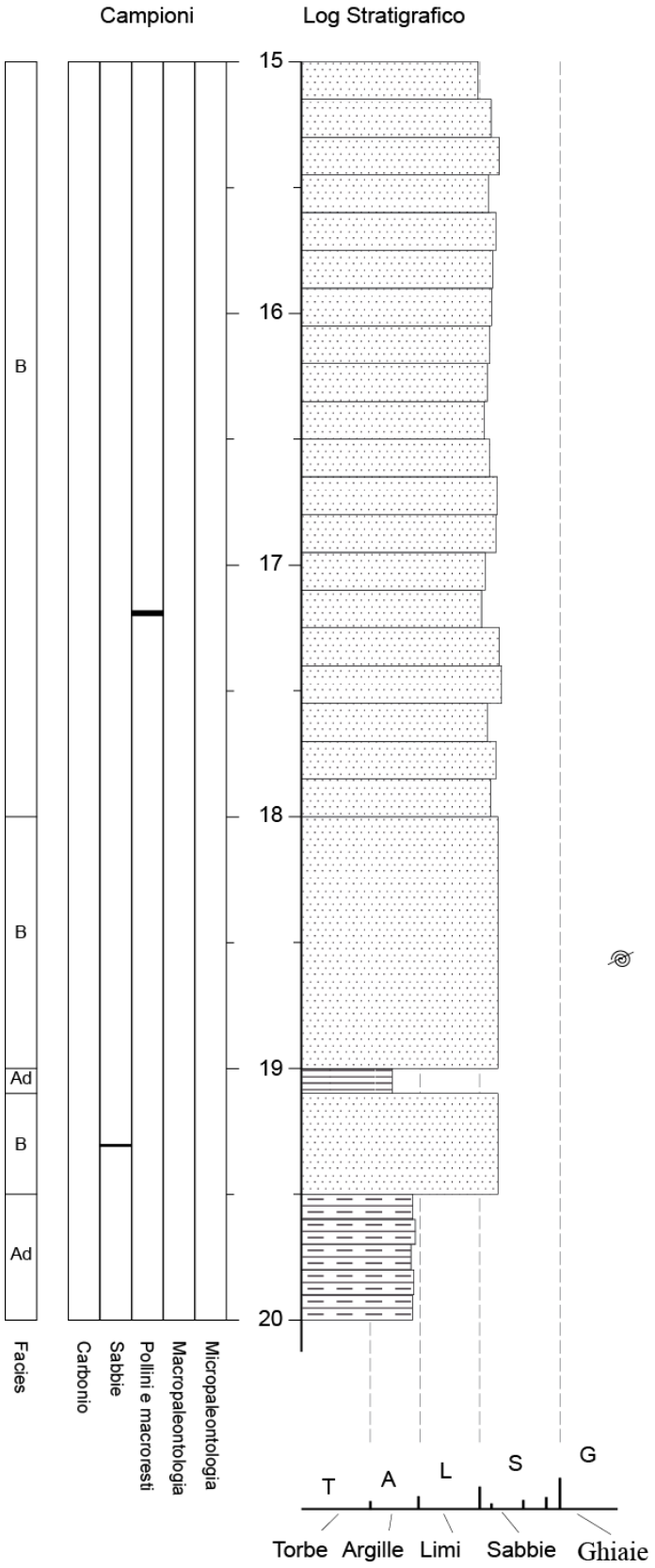

46 m
BLG1
47 m
47 m
BLG1
48 m
48 m
BLG1
49 m
49 m
BLG1
50 m
50 m
BLG1
51 m
51 m
BLG1
52 m
52 m
BLG1
53 m
53 m
BLG1
54 m
54 m
BLG1
55 m
55 m
BLG1
56 m
56 m
BLG1
57 m
57 m
BLG1
58 m
58 m
BLG1
59 m
59 m
BLG1
60 m

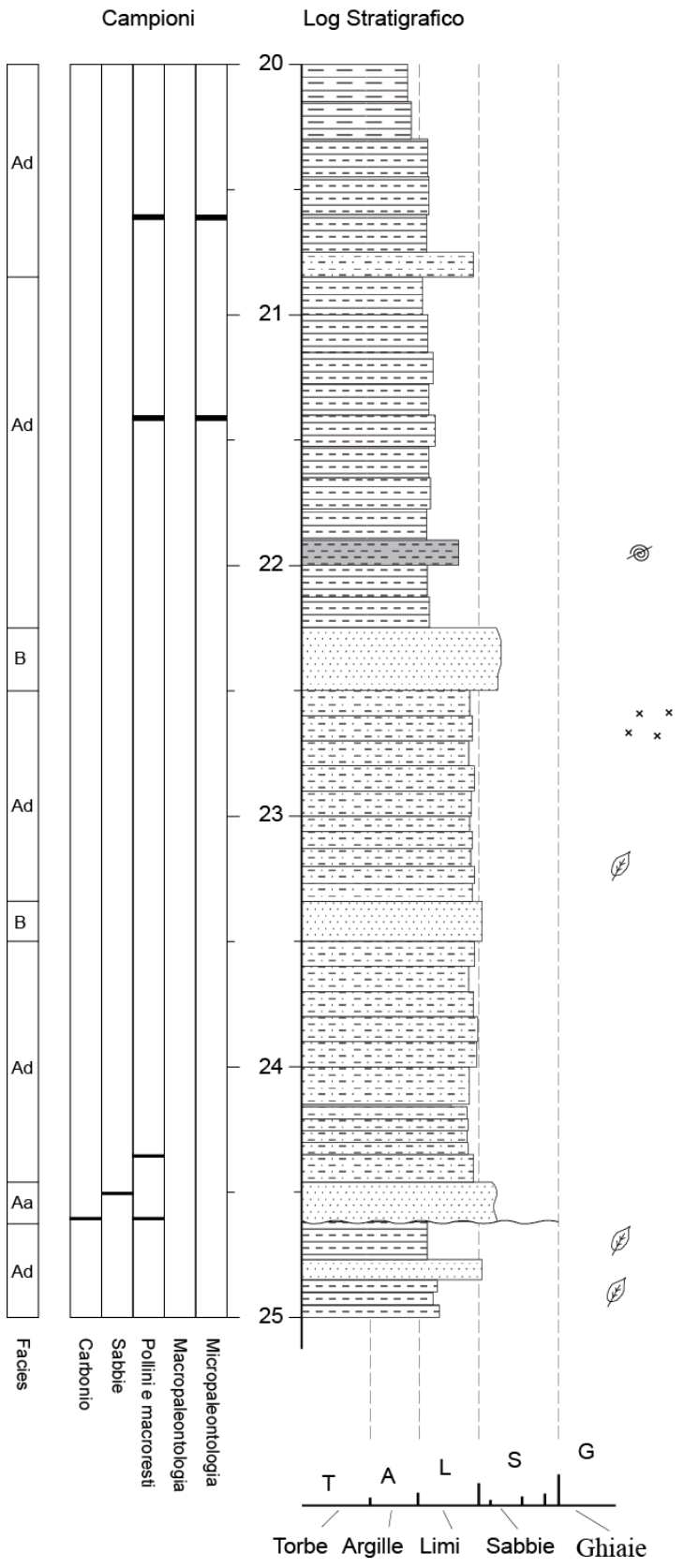
6.2 Log stratigrafico sondaggio BLG1

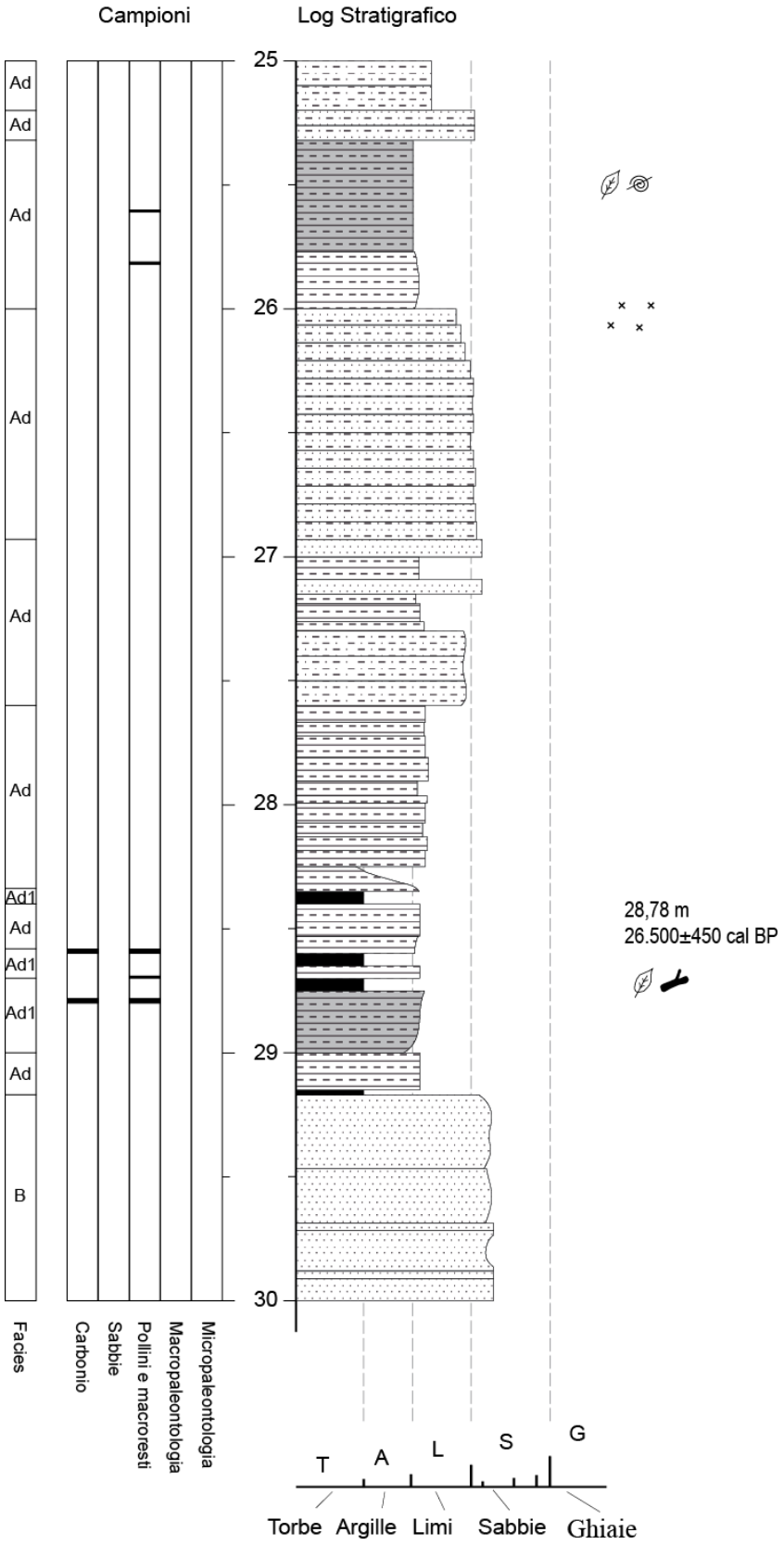


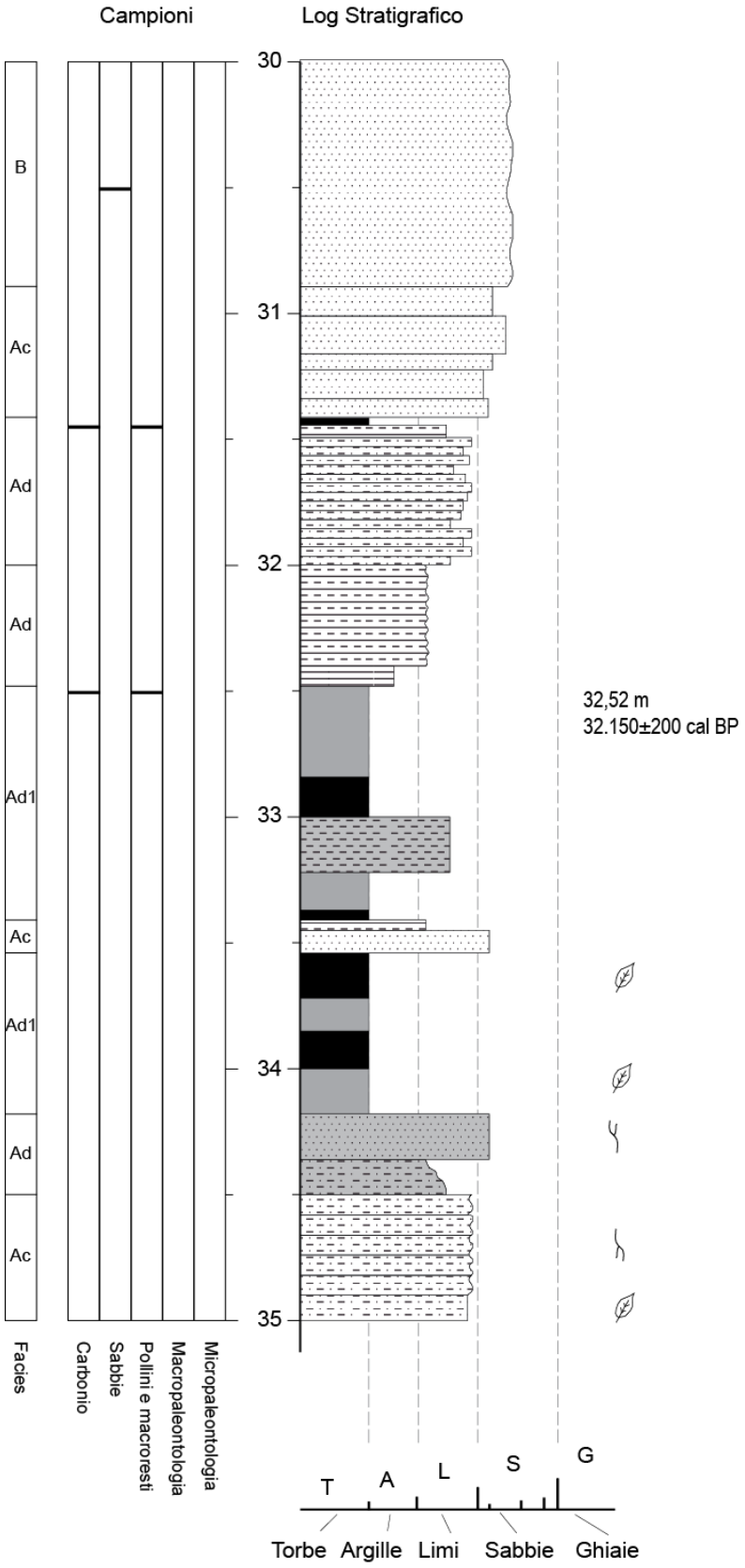

Campioni
Log Stratigrafico
B
Pb
B
Pc
B
Ac
Ad
Pb
5
6
7
8
9
10
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

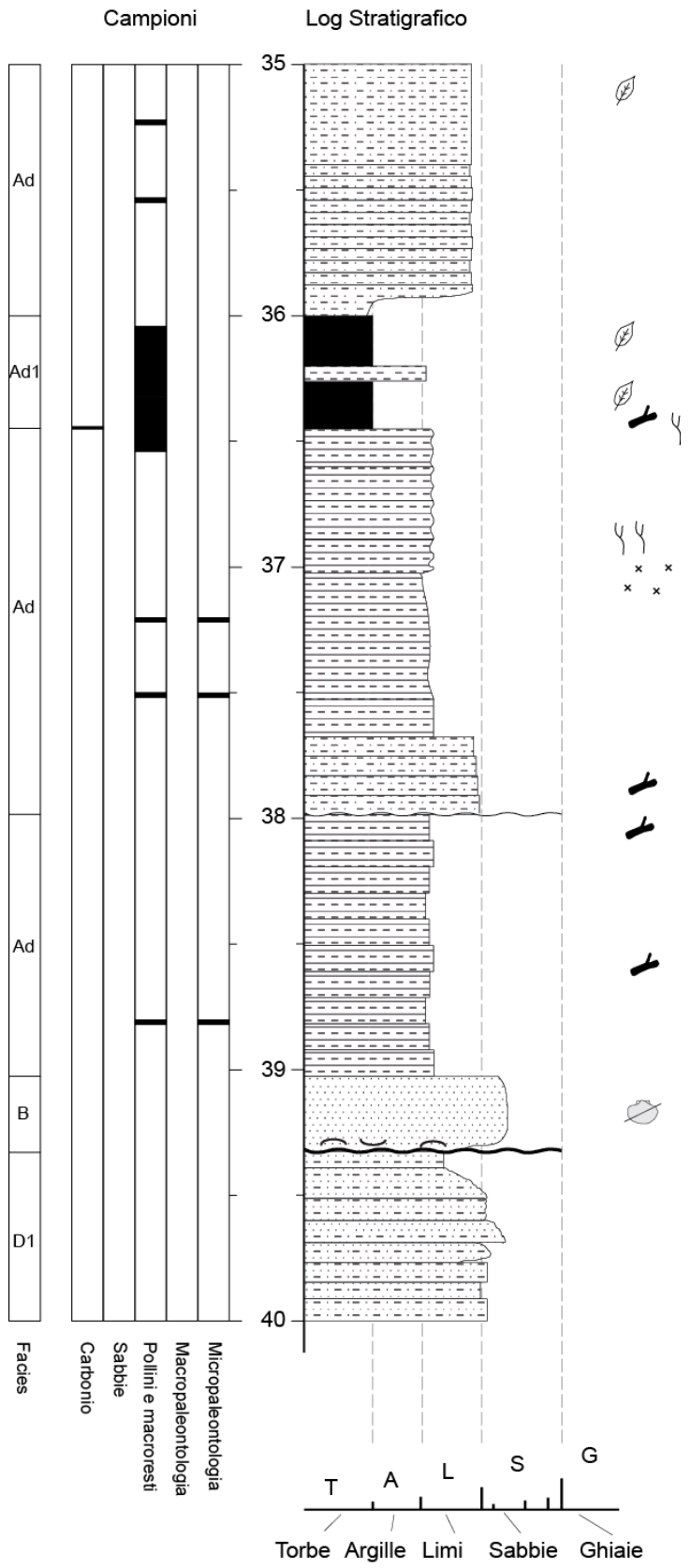

Campioni
Log Stratigrafico
Ad
Ad
Ad
Ac
Ac
10
11
12
13
14
15
Gasteropodi continentali
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

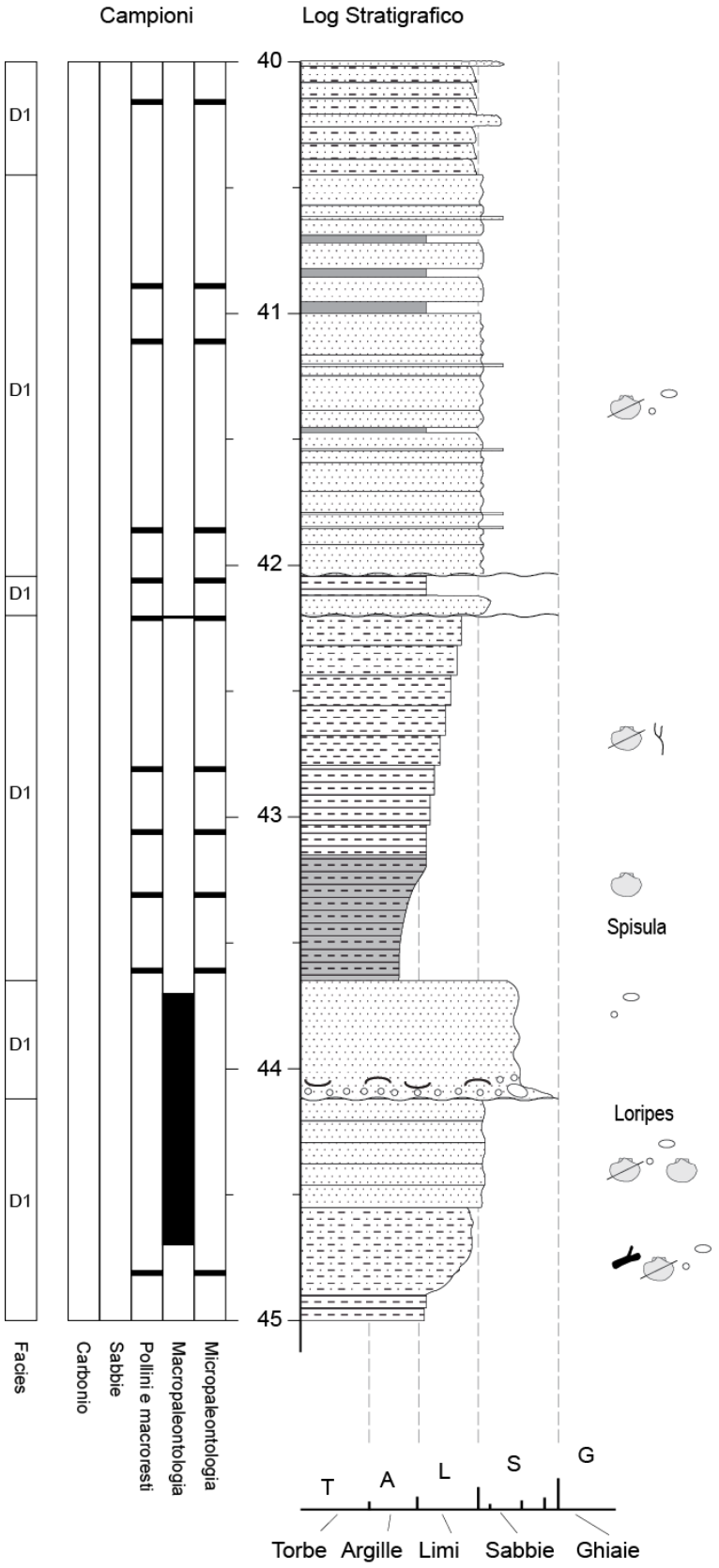

Campioni
Log Stratigrafico
15
16
17
18
19
20
B
B
Ad
B
Ad
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

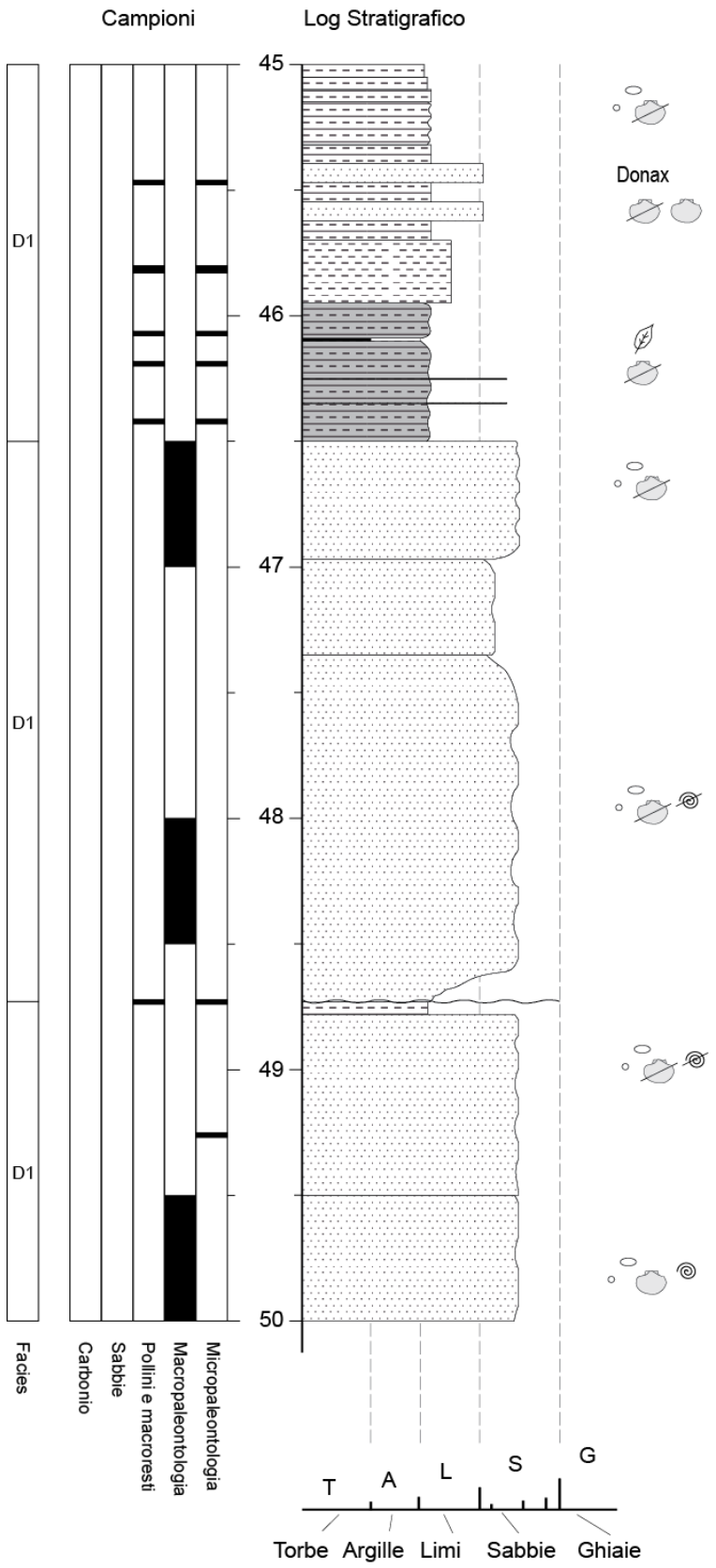

Campioni
Log Stratigrafico
Ad
Ad
B
Ad
B
Ad
Aa
Ad
20
21
22
23
24
25
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

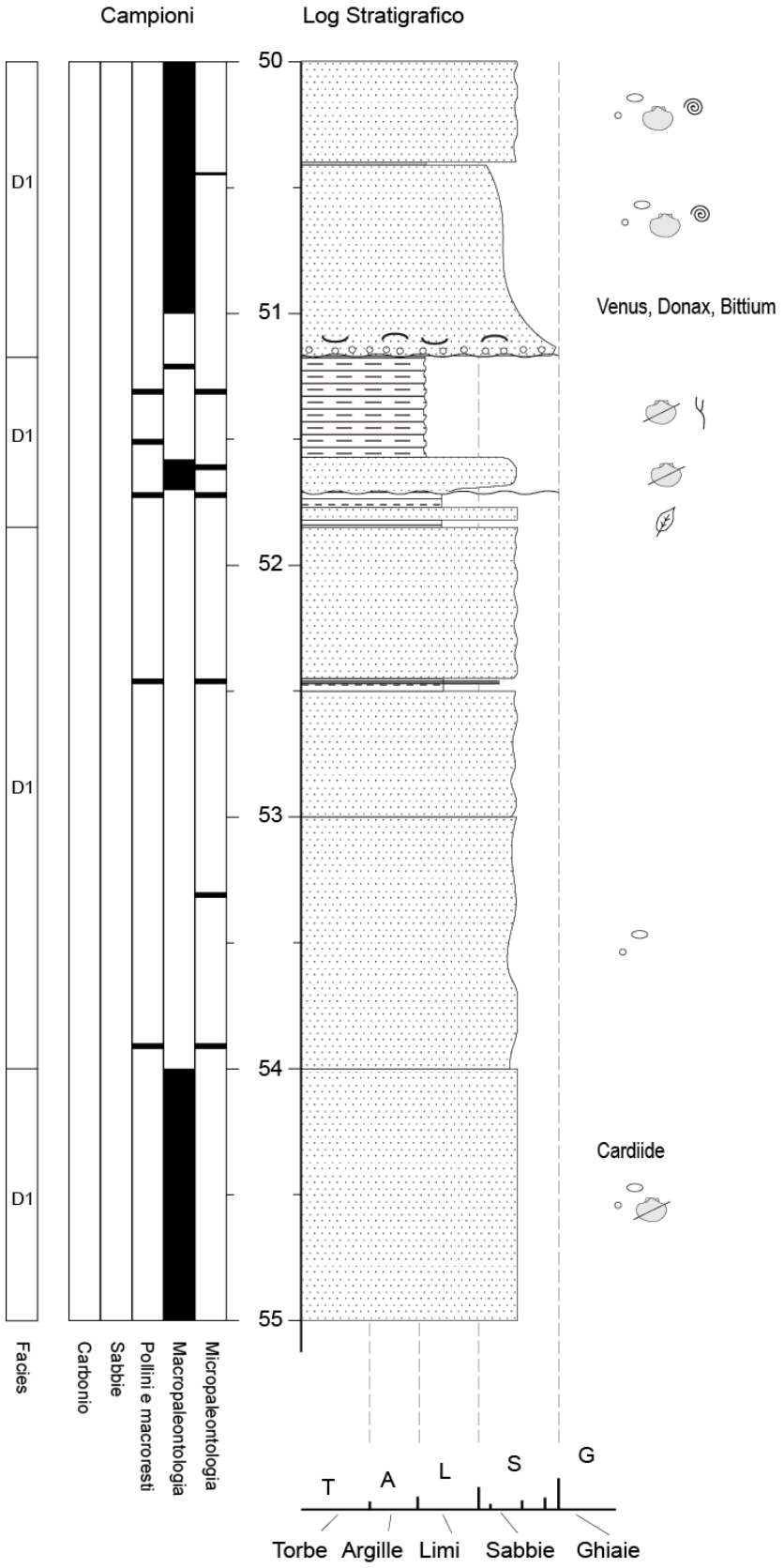

Campioni
Log Stratigrafico
Ad
Ad
Ad
Ad
Ad
Ad
Ad1
Ad
Ad1
Ad1
Ad
B
25
26
27
28
29
30
28,78 m
26.500±450 cal BP
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

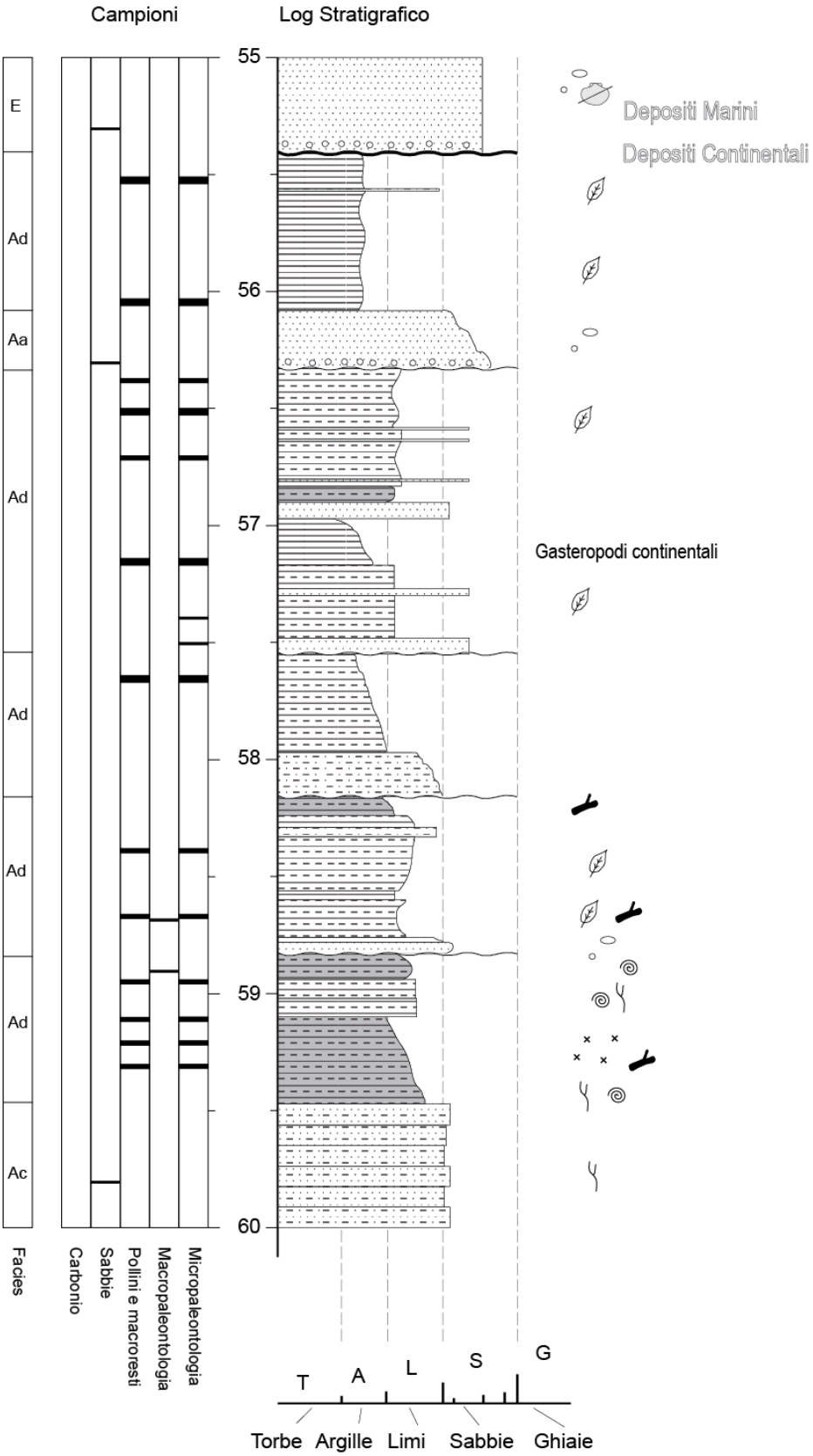

Campioni
Log Stratigrafico
30
31
32
33
34
35
B
Ac
Ad
Ad
Ad1
Ac
Ad1
Ad
Ac
32,52 m
32.150±200 cal BP
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
35
36
37
38
39
40
Ad
Ad1
Ad
Ad
B
D1
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
40
41
42
43
44
45
D1
D1
D1
D1
D1
D1
Spisula
Loripes
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
45
46
47
48
49
50
D1
D1
D1
Donax
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
50
51
52
53
54
55
D1
D1
D1
D1
Venus, Donax, Bittium
Cardiide
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
55
56
57
58
59
60
E
Ad
Aa
Ad
Ad
Ad
Ad
Ad
Ac
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
Depositi Marini
Depositi Continentali
Gasteropodi continentali
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

6.3 Descrizione in dettaglio del sondaggio BLG1

60,00-59,47 m: Sabbie con limo (30-35%) molto fini con gradazione normale (limo debolmente sabbioso al tetto con 20% di sabbia). Intervallo finemente laminato; presenti intercalazioni limose fini di 1-2 mm di colore più scuro a intervalli di 3-5 cm. Presenti bioturbazioni. Intorno a 59,70-59,75 m probabile laminazione incrociata planare con set delimitati dai livelli fini. Limite superiore graduale.

59,47-59,10 m: Limo argilloso (25-30% di argilla) di colore Gley 1 5/N-10Y; sedimento arricchito di sostanza organica, è presente un frustolo carbonioso a 59,32 m; rare conchiglie millimetriche (*Gasteropodi* polmonati (?)). Nella parte inferiore abbondanti bioturbazioni che arrivano nel livello sottostante fino a 59,65 m. Presenti bioturbazioni anche al tetto. Rare concrezioni carbonatiche millimetriche. Limite superiore netto (bioturbato).

59,10-58,94 m: Limi argillosi (25% di argilla) di colore Gley 1 6/N-10Y con abbondanti bioturbazioni nella parte inferiore che penetrano fino a 59,20 m nel livello inferiore; presenti anche al tetto. Conchiglia millimetrica a 59,00 m (*Gasteropode* pulmonato).

58,94-58,83 m: Limo argilloso (25-30% di argilla) arricchito in sostanza organica; presenti rari resti sparsi di Gasteropodi millimetrici; il colore è come quello dello strato fra 59,47-59,10 m.

58,83-58,76 m: Sabbia fine limosa (40-50% di limo) fino a 58,78 m; sopra limo debolmente sabbioso. A 58,81 m clasto argilloso di 2 cm eroso dal livello sottostante. Limite inferiore debolmente erosivo ondulato; limite superiore molto netto orizzontale.

58,76-58,60 m: Limo argilloso (25-30 % di argilla) di colore grigio Gley 1 5/N-10Y. Presenti diffusi resti vegetali pluri-millimetrici alcuni piritizzati in posizione prevalentemente orizzontale; piccola radice verticale di 1 cm a 58,70 m.

58,60-58,24 m: Limo debolmente argilloso finemente laminato con lamine ondulate millimetriche con intercalazioni più scure spaziate di 1-2 cm. Rari resti vegetali. Nella parte inferiore (58,56-58,60 m) limo argilloso. Tra 58,29 e 58,33 m intercalazione di limo sabbioso. Limite inferiore netto ondulato.

58,24-58,16 m: Limo argilloso (25% di argilla) ricco di sostanza organica. Frustolo carbonioso a 58,19 m. Limite inferiore netto.

58,16-57, 97 m: Limo debolmente sabbioso con sabbia finissima (30%) con intercalazioni fini limose più scure millimetriche intervallate di 1-3 cm e tracce di laminazione incrociata concava. Limite inferiore netto debolmente ondulato.

57,97-57,55 m: Limo argilloso (25-30% di argilla); diffusi resti vegetali millimetrici e sub-millimetrici e abbondanti bioturbazioni. Tracce di laminazione molto fine disturbata dalla bioturbazione. Limite inferiore graduale.

57,55-57,48 m: Sabbia medio-fine (300-400 µm) con clasti limosi centimetrici e frammenti di conchiglie (*Gasteropodi* continentali). Limite inferiore erosivo lineare.

57,48-57,30 m: Limo argilloso (25-30% di argilla); incluso sabbioso dovuto alla manovra.

57,30-57,27 m: Sabbia medio fine (300-400 µm); presenti frustoli vegetali a 57,30 e a 57,28 m in livelli orizzontali.

57,27-57,17 m: Limo argilloso (25-30 % di argilla) finemente laminato con intervalli scuri arricchiti di sostanza organica. Limite inferiore netto.

57,17-56,97 m: Argilla massiva fino a 57,2 m, più sopra finemente laminata con frazione limoso abbondante.

56,97-56,90 m: Sabbia fine limosa finemente laminata (testa di manovra).

56,90-56,83 m : Limo argilloso (25-30 %) grigio scuro (vedi sopra). Limite inferiore netto (disturbato dal carotaggio).

56,83-56,33 m: Limo argilloso grigio chiaro finemente laminato con rare lamine organiche millimetriche; a 56,52 m livello con resti vegetali piritizzati. Intercalazioni sabbiose centimetriche (di sabbia medio-fine, 400-500 µm) a 56,59, 56,64 e 56,80 m.

56,33-56,08 m: Sabbia media (400-500 µm); presenti due intercalazioni argillose pluri-centimetriche a 56,30 e 56,13 m. Alla base presenti clasti isolati ghiaiosi molto arrotondati (diametro massimo 6 mm). Limite inferiore netto erosivo lineare.

56,08-55,41 m: Argilla prevalentemente massiva con intervalli finemente laminati; resti vegetali piritizzati a 56,90 m. A 56,57 m intercalazione di limo sabbioso con resti vegetali.

55,41-54,00 m: Sabbia media (500-600 µm, con granuli fino a 1 mm) con ciottoli carbonatici arrotondati di 5-20 mm; limite inferiore erosivo ondulato; presenti rari ciottoli di 3-4 mm e rari clasti limosi centimetrici. Diffusi frammenti millimetrici di conchiglie costiere (*Cardiide* e un esemplare di 2 mm di Gasteropode tipo *Rissoa* un po' eroso). Spezzone estratto nel secchio.

54,00-53,00 m: Sabbia medio-fine (300-400 µm) con clasti argillosi pluri-centimetrici e ciottoli calcarei centimetrici sparsi. Tra 54 e 53,52 m sono visibili laminazioni pluri-millimetrici.

53,00 – 52,50 m : Carota compattata. Sabbia molto compattata con presenza di noduli d'argilla.

52,50-52,45 m: Limo argilloso (25-30 % di argilla) con ciottoli di 4-6 millimetri e lenti sabbiose (testa di manovra).

52,45-51,71 m: Sabbia medio-fine (300-400 µm con alcuni granuli maggiori) con tracce di laminazione disturbate dal carotaggio. A 51,85 m intercalazione di 3 centimetri di limo debolmente sabbioso con frustoli vegetali. Limite inferiore netto. Al tetto è presente un livello limoso argilloso di 6 cm.

51,71-51,57 m: Sabbia media (400-500 µm) con clasti argillosi provenienti dal livello sottostante e frammenti di conchiglie costiere (*Cardium* (?), *Ceritium* (?) e altri). Limite inferiore erosivo ondulato.

51,57-51,17 m: Argilla limosa con intervalli centimetrici finemente laminati; fino a 51,38 m sono presenti bioturbazioni e rari frammenti sub-millimetrici di conchiglie. Limite inferiore netto.

51,17-47,35 m: Sabbia media (500-700 µm) con intervalli di sabbia grossolana (800-1000 µm) e rari ciottoli sub-centimetrici. Presenti frammenti e gusci interi di conchiglie marino costiere (*Dentalium*, *Ceritium*, *Bittium*, forse un frammento di *Chiostoma* (Polmonata continentale)); tra 50,00 e 49,50 m gusci interi di *Donax*, *Loripes* e *Bittium* e altri frammenti molto diffusi di *Venus*, *Glicimmeris* e altre specie; a 48,85 m frammento di *Gibbula*; fra 48,30 e 47,40 m frammenti di *Murice*, *Pettinide* e *Cardeiide*. A 49,4 m ciottolo di 3,5 cm. Alla base lag grossolano con ciottoli di 1 o 2 cm e molto abbondanti frammenti di conchiglie sub-centimetriche. A 50,41 m livello di 1 cm di limo argilloso organico grigio-marrone scuro. Tra 48,78 e 48,73 m livello di limo argilloso organico con limite inferiore molto netto orizzontale e limite superiore eroso. Limite inferiore fortemente erosivo molto ondulato. Intervallo tra 49,50 e 49,20 m fortemente rimaneggiato come testa della manovra.

47,35-46,97 m: Sabbia medio-fine (300 µm) finemente laminata (forse rimaneggiamento dal carotiere).

46,97-46,50 m : Sabbia medio-grossolana (600-800 µm) con abbondanti clasti limosi pluri-centimetrici particolarmente concentrati tra 46,80 m e la base; rari ciottoli centimetrici arrotondati e abbondanti frammenti di conchiglie (Bivalvi e Gasteropodi marino costieri). Limite inferiore non ben visibile.

46,50-45,95 m: Limo argilloso organico di colore grigio-marrone scuro alla base progressivamente poco più chiaro verso l'alto; finemente laminato con laminazione debolmente ondulata. Sono presenti 2

intervalli di sabbia medio grossolana centimetrici e lenti sabbiose di spessore pluri-millimetrico. Sparsi frammenti di Gasteropodi e Bivalvi (costieri?); anche resti vegetali millimetrici. A 46,10 m livello debolmente torboso finemente laminato di 1 cm.

45,95-45,70 m Limo laminato fortemente rimaneggiato. N.B. Spezzone fortemente essiccato.

45,70-45,32 m : Alternanze di livelli pluri-centimetrici di limo argilloso finemente laminato e sabbia fine con frammenti di conchiglie e gusci interi (*Donax* e altri frammenti millimetrici). N.B. Spezzone fortemente essiccato.

45,32-45,15 m : Limo argilloso con ciottoli di 3-4 cm e gusci di *Spisula*, *Loripes* e frammenti di altri bivalvi marino costieri. Diffusi inclusi di limo organico (risedimentati?). N.B. Spezzone fortemente essiccato.

45,15-44,95 m: Limo argilloso finemente laminato. N.B. Spezzone fortemente essiccato.

44,95-44,55 m: Limo argilloso debolmente sabbioso finemente laminato di colore Gley 1 3-4/N; diffusi frammenti millimetrici di conchiglie (Bivalvi (*Cardium*?) e Gasteropodi marini e costieri ?). Sparsi frustoli carbonificati e diffusi ciottoli pluri-millimetrici/centimetrici arrotondati e sub-angolosi; clasti argillosi centimetrici molto deformati. Limite inferiore netto ondulato. Nel top 45 limo debolmente argilloso e sabbioso grigio scuro. Strati non ben visibili. Valve intere (*Spisula*?) e una *Rissoa*, inseriti in carotaggio a 49,99 m.

44,55-44,12 m: Sabbia fine (200-300 µm) molto limosa; non visibili strutture sedimentarie. Abbondanti ciottoli calcarei arrotondati centimetrici ed uno appiattito di 2,5 centimetri di flysh. Diffusi gusci interi e frammenti di Bivalvi e Gasteropodi in prevalenza sub-centimetrici (*Loripes*, *Pectinide* e altri); nella parte superiore frammenti di conchiglie fino a 3,5 cm (ostreiidi e pettinidi; *Natica* intera di 1 mm). Limite inferiore irregolare.

44,12-43,65 m : Sabbia medio-fine (400-500 µm) debolmente limosa con frammenti di conchiglie centimetrici (*Cerithium*, *Pectinidi*, ecc.). Intorno a 43,95 m ciottolo di 5 cm metamorfico (?) con vene di calcite e ciottolo calcareo appiattito, entrambi con fori di litofagi (ciottolo carbonatico con ancora resti di valve all'interno). Limite inferiore netto.

43,65-43,15 m Limo argilloso organico di colore grigio scuro; presenti diffusi gusci di Gasteropodi e Bivalvi costieri (*Spisula*, Bivalve con valve chiuse, frammento di *Cerithium* e altri). La parte inferiore (43,50-43,65 m) è di colore grigio chiaro. Limite inferiore netto.

43,15-42,20 m: Limo debolmente argilloso con debolissima gradazione normale (passaggio a limo argilloso debolmente sabbioso verso l'alto). Presenti rari frammenti di Gasteropodi (marini?) sub-millimetrici e sparse bioturbazioni via via più abbondanti verso l'alto. Limite inferiore molto graduale.

42,20-42,12 m: Sabbia media (500-600 µm) molto sciolta con clasti limosi pluri-centimetrici e una Gibbula di 1,5 cm alla base. Limite inferiore erosivo molto ondulato.

42,12-42,04 m: Limo argilloso come intervallo tra 43,15 e 42,20 m. Limiti molto netti e irregolari (blocco decimetrico eroso dal livello argilloso sottostante).

42,04-40,45 m: Sabbia media (300-400 µm) finemente laminata con frequenti lamine scure (arricchite di sostanza organica). Sparsi clasti argillosi pluri-centimetrici e rari ciottoli di 0,5-1,5 cm. Rari frammenti di conchiglie millimetriche e molto abbondanti sub-millimetriche. Intervallo intorno a 41,30 m con laminazioni incrociate. Presenti alcune intercalazioni di 5-10 cm di sabbia media-grossolana (600-700 µm) dai limiti per lo più graduali. Frequenti livelli organici sub-centimetrici tra 41,00 e 40,80 m. Limite inferiore netto erosivo.

40,45-39,30 m: Limo sabbioso progressivamente più argilloso con laminazioni meno frequenti; presenti alcune intercalazioni di sabbia fine sciolta di qualche centimetro (200-300 µm). I 5 centimetri più superficiali (39,35-39,30 m) hanno un colore nettamente più chiaro. Limite inferiore molto graduale.

39,30-39,00 m: Sabbia media (300-500 µm) con frammenti di conchiglie pluri-millimetrici (un frammento di *Gibbula* di 8 mm); clasti argillosi di 5-8 cm erosi dal livello limoso grigio chiaro sottostante. Limite inferiore erosivo. Al top fra 39,00 e 38,95 m sabbia media e fra 38,95 e 38,60 m limo argilloso laminato; laminazioni fini ben visibili alla base; più sopra probabilmente "stirate" estendendo la carota. Sono presenti frustoli carboniosi centimetrici. Limite inferiore netto, ondulato, non erosivo.

39,00-37,96 m: Limo argilloso (25-30 % di argilla) finemente laminato, assenti bioturbazioni e conchiglie. Rari frustoli carboniosi.

37,96-37,65 m: Limo debolmente sabbioso con gradazione normale; livello basale di sabbia fine; presente un clasto argilloso di 3 cm eroso dal livello sottostante e sparsi frustoli carboniosi; limite inferiore erosivo.

37,65-36,45 m: Limo argilloso (25 % di argilla) finemente laminato progressivamente più argilloso e più massivo verso l'alto. Abbondanti bioturbazioni tra 37,00 e 36,45 m. Presenti concrezioni carbonatiche fino a 0,5 cm. Limite inferiore molto graduale.

36,45-36,00 m Argilla torbosa nerastra di colore 10 YR 2/1; presenza di abbondanti resti vegetali tra i quali 2 pezzi di legno di 5 cm fra 36,45 e 36,30 m, molto rari nella parte superiore di colore 7,5 YR 2,5/1 tra 36,20 e 36,00 m. Intercalazione di limo debolmente argilloso di colore grigio chiaro tra 36,26 e 36,20 m. Limite inferiore netto (bioturbato).

36,00-35,40 m Limo debolmente sabbioso con intervalli argillosi centimetrici. Limite inferiore. Nel top i livelli 36,00-35,91 m Argilla torbosa con resti vegetali ben conservati, 35,91-35,65 m limo argilloso finemente laminato; intercalazioni millimetriche di limo sabbioso. limite inferiore netto non erosivo, 35,65-35,55 m limo debolmente sabbioso con intercalazioni più fini; si presenta finemente laminato con probabile laminazione incrociata. Limite inferiore molto graduale.

35,40-34,90 m Limo sabbioso con sparsi resti vegetali e alcuni clasti torbosi centimetrici a 35,05 m. Limite inferiore graduale.

34,90-34,50 m: Limo sabbioso (30% di sabbia) in alternanza; HCl = 3; è presente radice tra 34,73 e 34,55 m. A 34,50 m c'è stata la manovra.

34,50-34,36 m: Limi debolmente sabbiosi alla base passanti a limi argillosi con sostanza organica dispersa nella matrice; colore 2,5 Y 4/2.

34,36-32,5 m: Strato di torba; tra 34,36 e 34,18 m livello più stratificato e organico con presenza di alcuni molto rari punti di sabbia (200-300 µm) forse legata a bioturbazioni. Da 34,18 a 34,00 m livello di torba più omogenea con stratificazione meno evidente e con meno sostanza organica. Da 34,00 a 33,85 m livello di torba più organica con presenza di macroresti vegetali (semi), ben stratificata. Da 33,85 a 33,72 m livello di torba meno organico con stratificazione meno evidente con rari punti di sabbia (200-300 µm). Da 33,72 a 33,37 m livello di torba più stratificata con abbondante materiale organico e macroresti vegetali (semi). A 33,54 e 33,45 m veli di sabbia; a 33,41 m plaga di limo argilloso. Da 33,37 a 33,22 m livello di torba con stratificazione meno evidente e minor quantità di sostanza organica. Da 33,22 a 33,00 m limo torboso; manovra a 33,00 m. Da 33,00 a 32,84 m livello torboso con rari livelli sabbiosi (200-300 µm). Da 32,84 a 32,48 m livello di torba con minor presenza di materia organica.

32,48-32,00 m Limo argilloso (argilla al 20%); alla base tra 32,48 e 32,40 m maggiore componente argillosa (35-40%). HCl = 4

32,00-31,5 m: Limo sabbioso (20% di sabbia) con una debole frazione argillosa alla base; sono presenti due plaghe torbose pluri-millimetriche; verso il top dello strato ci sono lamine più organiche. A 31,50 m c'è un avanzo di manovra (Top).

31,50-31,45 m: Limo argilloso.

31,45-31,42 m: Torba.

31,42-30,90 m: Sabbie molto chiare con lamine biancastre limose ben evidenti.

30,90-30,00 m: Sabbie con avanzo di manovra. HCl = 4

30,00-29,17 m: Sabbie molto chiare con lamine biancastre limose ben evidenti.

29,17-29,00 m: Limo argilloso con plaga di torba a 29,15 m. HCl = 3

29,00-28,75 m: Limo argilloso (15% di argilla) con livelli sparsi più ricchi di materia organica; HCl = 3

28,75-28,70 m: Torba con abbondante componente organica e macroresti vegetali pluri-millimetrici (radice molto ben conservata di diametro sub-centimetrico).

28,70-28,53 m: Limo più argilloso (15-20%) verso il bottom; livelli torbosi tra 28,65 e 28,60 m.

28,53-28,35 m: Limo argilloso con plaga di torba a 28,40 m. A 28,5 m manovra con presenza di metano e odore di zolfo.

28,35-28,25 m: Limo argilloso con al top livello di torba.

28,25-27,60 m: Limo argilloso (25% di argilla) laminato. HCl = 2-3

27,60-27,30 m: Limo sabbioso (50:50) laminato. HCl = 3

27,30-27,15 m: Limo argilloso laminato.

27,15-27,09 m: Sabbia fine.

27,09-27,00 m: Limo argilloso laminato.

27,00-26,93 m: Sabbia fine

26,93-26,00 m: Strato con alternanze cm di limo sabbioso e sabbia limosa (granulometria minore di 150 µm per la sabbia); a 26,08 m è presente una concrezione carbonatica di 2,5 cm per 1 cm.

26,00-25,77 m: Limo argilloso con porzioni di materia organica più scure; parti argillose al top di colore 5Y 5/2; HCl = 4

25,77-25,32 m: Limo argilloso laminato; verso il bottom rari frammenti vegetali millimetrici; tra 25,67 e 25,61 m livello più grigio con presenza di resti vegetali decomposti millimetrici e alcuni frammenti millimetrici di gasteropodi continentali. Probabile livello formatosi in ambiente di acque stagnanti. Fine manovra a 25,50 m con avanzo di 30 cm.

25,32-25,20 m: Sabbia limosa (circa 100 µm). HCl = 4

25,20-25,00 m: Limo sabbioso non laminato (sabbia circa 100 µm). HCl = 4

25,00-24,85 m: Limo debolmente argilloso con rari resti millimetrici vegetali decomposti.

24,85 – 24,77 m: Sabbia fine (circa 100 µm).

24,77-24,62 m: Limo debolmente argilloso (20% di argilla) con un macroresto vegetale pluri-centimetrico carbonificato con un diametro di 7 mm subparallelo agli strati. Presenti resti vegetali millimetrici decomposti.

24,62-24,46 m: Strato omogeneo di sabbia media (in media di 400 µm fino a un massimo di 700 µm).

24,46-24,35 m: Limo sabbioso di colore 2,5Y 4\3

24,35-23, 50 m: Alternanza di limo sabbioso e sabbie limose (sabbie fini circa 100 µm). A 24, 16 m livello di color grigio per la maggior quantità di sostanza organica. A 24,10 m livello di sabbia (con granulometria fra i 200 e 300 µm). Manovra a 24,00 m con avanzo di 35 cm.

23,50-23,42 m: Sabbia fine (circa 150 µm) di color grigio.

23,42-23,00 m: Limo sabbioso con presenza di sparsi frammenti vegetali millimetrici decomposti.

23,00-22,50 m: Limo sabbioso con bande di ossidazione rossastre con a 22,78 m presenza di un concrezione pluri-centimetrica. Fine manovra a 22,50 m con avanzo di 20 cm.

22,50-22,25 m: Sabbia da media a fine andando verso il top, con laminazione ben evidente; più fitta fino a 22,35 m mentre da 22,35 m è più larga.

22,25-21,00 m: Limo debolmente argilloso apparentemente omogeneo, tra 22,00 e 21,90 m livello di limo grigio con possibile presenza di materia organica dispersa e probabili frammenti millimetrici di gasteropodi continentali.

21,00-19,50 m: Limi argillosi, la percentuale di argilla in aumento verso il top, da 20,30 m argille limose. Tra 20,85 e 20,75 m livello di limo sabbioso. (Top, ?)

19,50-18,00 m Sabbia media-fine (200-300 µm); a 19,10 m plaga argillosa (clasto); tra 19,00 e 18,00 m sabbia dilavata. A 18,75 m è presente un frammento di *Chiostoma* (Bovoletto, Pulmonata terrestre) con guscio decorato con linee bistro.

18,00-15,00 m: Sabbia medio fine di colore grigio con alternanza di livelli più limoso argillosi.

15,00-13,5 m: Mancato recupero

13,50-11,80 m: Limo sabbioso; da 13,50 a 13,10 m presenta laminazione ben evidente con resti organici vegetali decomposti pluri-millimetrici. Verso il top la componente sabbiosa diminuisce e aumenta quella limoso argillosa. A 12,62 m è presente una plaga argillosa (clasto) così come tra 12,15 e 12,10 m.

11,80-11,10 m: Alternanze di limo e argilla. Tra 11,75 e 11,70 m c'è un livello grigio-nero ricco di materia organica.

11,10-10,52 m: Limo sabbioso (sabbia fine di circa 100 µm al 20 %) con livelli più scuri per la maggior presenza di materia organica (possibile suolo tra 10,80 e 10,65 m). Verso il top dello strato sono presenti alcuni frammenti di molluschi bianchi molto fragili (probabili Gasteropodi continentali).

10,52-10,00 m: Argilla di colore grigio, da 10,15 m più limoso.

10,00-9,78 m: Limo debolmente sabbioso (10% di sabbia) con frequenti resti vegetali (radici).

9,78-9,70 m: Livello più scuro di limo debolmente argilloso; possibile orizzonte pedogenizzato (possibile orizzonte organico di suolo poco evoluto).

9,70-7,75 m: Inizialmente lo strato si presenta come limo debolmente argilloso di colore grigio scuro che verso il top passa prima a limo sabbioso e poi a sabbie limose. In tutto lo strato sono presenti resti vegetali (radici). A 8,53 m è stato campionato un gasteropode intero continentale. Da 8,10 a 7,80 m livello con abbondanti resti vegetali (radici). Tra 7,85 e 7,75 m livello con rari frammenti millimetrici bianchi e fragili (gasteropodi continentali).

7,75-7,20 m: Sabbie limose con laminazioni biancastre in cui la componente limosa è più abbondante. Le laminazioni sono più fitte al bottom e più blande al top. Rari resti vegetali decomposti.

7,20-6,00 m: Alternanza di sabbie fini (100 µm) e sabbie medie (400 µm).

6,00-5,62 m: Sabbia fine (150 µm) laminato.

5,62-5,50 m: Strato più scuro (possibile orizzonte pedogenizzato)

5,50-5,37 m: Sabbie medie

5,37-5,16 m: Limo sabbioso scuro per abbondante materia organica (forse orizzonte pedogenizzato).

5,16-4,90 m: Sabbie fini con abbondanti resti organici (probabilmente radici).

4,90-4,67 m: Limo sabbioso con al top maggior presenza di materia organica.

4,67-3,26 m: Sabbia media (circa 400 µm); orizzonte tra 3,85e 3,75 m costituito da sabbie più grossolane e ghiaia con clasti di 2 o 3 mm. Tra 3,65 e 3,60 m sono presenti resti vegetali decomposti pluri-millimetrici (radici). Tra 3,30 e 3,26 m plaga più scura dovuta a presenza di materia organica.

3,26-2,85 m: Sabbia media (400 µm) con una maggior componente limosa al top. Tra 3,15 e 3,10 m plaga più limosa di color più scuro per la maggior componente organica.

2,85-2,55 m: Strato di color grigio nerastro di limo sabbioso che potrebbe rappresentare un orizzonte pedogenizzato con crescita di vegetazione (resti vegetali decomposti pluri-millimetrici al botton). Verso il top si passa a una sabbia limosa.

2,55-2,33 m: Strato di colore grigio chiaro di sabbia medio fina (circa 200-300 µm), (colluvio).

2,33-2,00 m: Sabbia limosa con sparsi resti vegetali decomposti; a 2,12 m è presente un coccio preistorico probabilmente neolitico.

2,00-1,70 m: Sabbia debolmente limosa, molto ossidata, con frammenti biancastri e fragili di molluschi (probabilmente gasteropodi continentali).

1,70-0,50 m: Limo sabbioso di colore bruno rossiccio, fra 1,35 e 1,25 m livello di colore più rossiccio.

0,50-0,00: Limo sabbioso di colore rosso bruno con radici al bottom. Sicuramente rimaneggiato.

6.4 Descrizione sedimentologica, sintesi stratigrafica (BLG1)

60,00-55,41 m

Alla base dell'intervallo si ha un'alternanza di orizzonti di sabbie fini ben laminate, che passano a limi argillosi organici con presenza di bioturbazioni, frammenti di gusci di molluschi continentali, tracce di resti legnosi e alcune concrezioni carbonatiche millimetriche.

Successivamente, fino a 55,41 m ci sono varie alternanze di limi argillosi organici, limi sabbiosi con alcuni livelli di sabbie fini, con presenza continua di resti vegetali e bioturbazioni, gusci di molluschi continentali e alcuni ciottoli di dimensioni millimetriche; a 58,81 m clasto di 2 cm. Verso l'alto dell'intervallo compaiono degli strati di argille con spessore anche decimetrico.

La presenza di bioturbazioni e concrezioni carbonatiche millimetriche nei livelli sottostanti agli orizzonti organici potrebbero rappresentare gli indizi della formazione di histosuoli (59,47-59,10 m, 58,94-58,83 m e 58,24-58,16 m).

L'intervallo verosimilmente rappresenta dei depositi alluvionali risalenti alla penultima glaciazione (ultima parte del MIS 6) oppure al periodo immediatamente precedente all'arrivo della trasgressione tirreniana, ma già durante il MIS 5.5.

55,41-46,50 m

La base dell'intervallo è caratterizzata da un importante limite erosivo che divide i depositi alluvionale probabilmente risalenti al MIS 6, con i depositi lagunari del MIS 5.

Da 55,41 a 51,71 m ci sono alternanze di banchi metrici di sabbie da medie a fini con frammenti di gusci di molluschi marini e alcuni ciottoli diffusi più o meno in tutto l'intervallo. Verso 51,70 m c'è la presenza di macroresti vegetali.

Da 51,71 a 46,50 m ci sono alternanze di banchi da decimetrici a metrici di sabbie medie e fini. Da 51,57 a 51,17 m limi argillosi. A 51,17 m è presente un'importante discontinuità erosiva riconosciuta come una superficie di ravinement. Da 51,17 m a circa 50,80 m c'è la presenza di gusci di molluschi marini.

Successivamente, fino alla testa dell'intervallo, sono presenti frammenti di gusci di molluschi sia marini che continentali, mentre sono diffusi in tutto l'intervallo ciottoli anche di 1 o 2 cm.

L'alternanza degli strati sabbiosi presenti fino a 46,50 m a volte intervallati da dei livelli di sedimenti più fini come argille limose e limi argillosi potrebbe essere compatibile con facies sia di shoreface sia di retrobarriera (quindi un ambiente prossimo alla laguna). I depositi da 55,41 a 46,50 m potrebbero indicare verosimilmente la successione trasgressiva tirreniana, ovvero il MIS 5.5.

46,50-42,20 m

Da 46,50 a 42,20 m ci sono alternanze di limi argillosi talora organici e limi e limi sabbiosi con intervalli da centimetrici a decimetrici di sabbie fini. Presenza diffusa di frammenti di gusci di molluschi marini e di ciottoli con dimensioni millimetriche; vi

sono anche tracce di legno e altri macroresti. A 44,12 m è presente un limite erosivo importante.
La presenza di frammenti di conchiglie di molluschi tipo *Spisula* sp. indica un ambiente più salato; quindi l'intervallo è compatibile con facies di delta front passante a prodelta. Non si può comunque escludere che anche quest'intervallo si trovi in un ambiente di retrobarriera, ma in prossimità di una bocca lagunare, che avrebbe trasportato verso l'interno molluschi tipici di facies marine più profonde.

42,20-39,30 m
Nell'intervallo 42,20-39,30 m c'è l'alternanza centimetrica di limi sabbiosi e sabbie fini ben laminate, dove talvolta si riconosce una stratificazione incrociata tipo *ripple* fino a 39,30 m. Talvolta si ha presenza di frammenti di gusci di molluschi marini e di qualche ciottolo.
I sedimenti di questo intervallo si trovano probabilmente in facies lagunare, anche se non è da escludere che possano trovarsi in condizioni di ambiente di retrobarriera o di spiaggia.
A 39,30 m c'è una superficie erosiva con sabbie medie e frammenti di gibbula, forse rimaneggiati dai sedimenti sottostanti. Al di sopra di questa superficie erosiva la sequenza è continentale.

Gli intervalli di strati osservati, nell'intervallo 55,41-39,30 m, rientrano all'interno del Tirenniano o MIS 5.5. Questo è anche testimoniato dalle datazioni ESR (Electro Spin Resonance) effettuate dal professore Ratcke di Colonia tramite Fabrizio Antonioli nel 2009.
La presenza di livelli di sedimenti di sabbia da media a fine e la presenza di ciottoli anche di spessore centrimetrico indicano un ambiente a forte energia. L'ambiente di deposizione può essere paralico, anche se senza dati paleontologici precisi non si può avere la certezza.

39,30-32,48 m
Da 39,30 m fino a 37,00 m alternanze centimetriche di limi argillosi e limi sabbiosi con presenza di frammenti di legno. Da 37,00 m e per gran parte del resto dell'intervallo ci sono delle bioturbazioni e delle concrezioni carbonatiche di diametro massimo di 0,5 cm.
Livello torboso da 36,45 a 36,00 m e successivamente fino a 34,36 m, alternanza centimetrica di limi più o meno sabbiosi, negli ultimi strati c'è la presenza diffusa di materia organica.
I depositi di questa prima parte d'intervallo corrispondono a sedimenti deposti in facies di piana d'esondazione.
Il livello34,36-32,48 m è rappresentato dall'alternanza di torbe e strati di argille fortemente organiche; in esso c'è presenza quasi generalizzata di resti vegetali di vario genere.

Le torbe corrispondono a importanti e prolungati periodi di stasi della sedimentazione fluviale localmente rappresentati da ambienti palustri di acqua dolce.
Le torbe presenti da 36,45 a 36,00 m insieme ai livelli precedentemente descritti di questo intervallo potrebbero rappresentare dei depositi risalenti al MIS 4, anche se nella maggior parte dei sondaggi effettuati nella bassa pianura friulana e nelle aree adiacenti a Venezia i sedimenti risalenti al MIS 4 non sono stati rilevati. Questa assenza potrebbe essere dovuta alla non deposizione di questi sedimenti oppure ad una loro successiva erosione.
Senza ulteriori datazioni quindi resta difficile capire se queste torbe possano realmente appartenere al periodo del MIS 4 oppure se più semplicemente siano risalenti al MIS 3.
I livelli torbosi e molto organici presenti fra 34,50 e 32,50 m, invece, sono sicuramente appartenenti al MIS 3. Alla profondità di 32,52 m una datazione al radiocarbonio su un campione di torbe fornisce una età di 26.641±170anni BP, la cui calibrazione fornisce un'età di 31.150±200 anni cal BP. La data individua il termine temporale del MIS 3 e l'inizio del MIS 2.

32,48-28,25 m

Passaggio progressivo da argille a limi argillosi fino ad un'alternanza centimetrica di limi e limi sabbiosi, per poi passare ad alternanze centimetriche di sabbie fini e medie fino a 29,17 m.
Da 29,17 a 28,25 alternanza di limi argillosi con livelli anche organici.
Orizzonti di torbe presenti nei livelli 31,45-31,42 m, 29,17-27,15 m, 28,75-28,70 m, 28,65-28,60 m, 28,30-28,25 m.
Nel livello da 32,40 a 31,40 m si riconoscono sedimenti di piana inondabile. Al di sopra di questi sedimenti si ha la presenza di un canale sabbioso della potenza massima di 2,5 m. Il canale è compatibile con tipologie fluviali *braided* o di transizione passante a canale singolo meandriforme. Le torbe potrebbero rappresentare il riempimento residuale di questo canale abbandonato.
La base del (LGM) potrebbe essere a 28,25 oppure a 28,60 m. Alle profondità di 28,78 m è stato prelevato un campione di torba che, datato con il metodo del radiocarbonio ha fornito un'etàdi22.056±110 anni BP; la calibrazione di questa datazione ci fornisce un'età di 26.500±450 anni cal BP. Questa datazione ci permette di affermare che siamo già all'interno del MIS 2, nella fase pleniglaciale del LGM.

28,25-5,62m

Alternanza di limi argillosi e di sabbie limose fino a 19,50 m. Ci sono alcuni livelli in cui sono presenti macroresti vegetali, alcune concrezioni e frammenti di gusci di molluschi continentali. Sono presenti alcuni livelli ben laminati.
Da 19,50 a 15,00 m sabbie fini abbastanza sterili.
Fra 15,00 e 13,50 m mancato recupero del campione.
Da 13,50 a 7,20 m alternanze di limi sabbiosi con secondari livelli di argille.

Questi sono depositi del LGM; le sabbie sono compatibili con i depositi alluvionali in facies di piana d'esondazione e secondariamente di canale, legati a fiumi di tipo *braided* sabbiosi o di transizione a canale singolo meandriforme, attivi durante questo periodo.
Nell parte finale da 7,20 a 5,50 m sabbie fini che rappresentano la base delle dune di origine fluviale-eolica che sono state osservate anche in località Belvedere e San Marco.

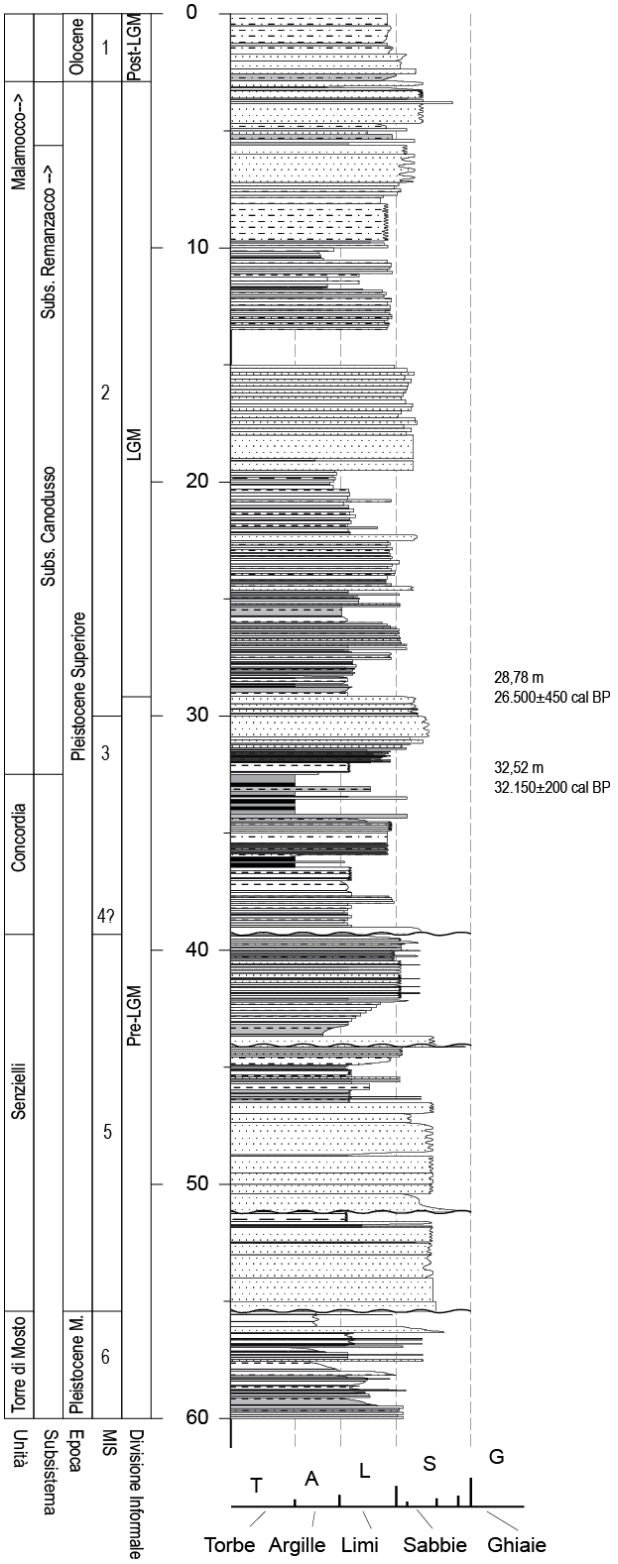
5,62-0,00 m
Sabbie medie e fini. Sedimenti di canale fluviale ricchi di frammenti legnosi, macroresti vegetali e qualche frammento di gusci di molluschi continentali. Ci sono alcuni orizzonti pedogenizzati riferibili a dei suoli, nei livelli 5,62-5,50 m, 5,37-5,16 m e 2,85-2,55 m.

Il campione prelevato alla profondità di 5,55-5,50 m è quello che per primo dovrà essere datato in futuro poiché potrebbe dare la data delle "dune superficiali"; è anche possibile che in questo livello ci siano dei macroresti di radici provenienti dagli orizzonti superiori.

L'orizzonte organico presente a 2,70 m di profondità potrebbe essere il suolo naturale olocenico sepolto dal rimaneggiamento antropico dell'area delle dune di Beligna in età storica o addirittura preistorica. La datazione di questo orizzonte organico potrebbe consentire la determinazione dell'età di questa fase antropica.
Il livello 2,55-2,33 m di sabbie fini grigie sono depositi di colluvio probabilmente provenienti dalla parte più superficiale delle dune. Il colluvio è la prova che le dune sono state soggette ad erosione e che questo livello osservato si trovava verso l'alto delle dune.
Da 2,33 m alla superficie c'è un importante rimaneggiamento antropico. Da 2,33 a 2,00 i limi argillosi debolmente sabbiosi di colore 10 YR 4/2 hanno all'interno abbondanti noduli di ferro manganese dovuti alla fluttuazione stagionale della falda acquifera. Alla profondità di 2,08 m è stato trovato un frammento di ceramica preistorica, probabilmente di età neolitica. Fra 2,00 e 1,70 m frammenti di gusci di chiocciole terrestri.

BLG1

Log Stratigrafico



7Carotaggio CNC4

Questo carotaggio è stato effettuato nel parco pubblico di Via dei Pozzi romani di Concordia, a partire da una quota di campagna di 2,0 m s.l.m. (coordinate WGS84: N45°45’34’’ – E12°50’28’’). L’area è situata a pochissima distanza dal maggiore scavo archeologico che ha indagato il teatro d’epoca romana, presso cui sono state documentate anche fasi di insediamento riferibili alla prima età del Bronzo (Croce Da Villa & Balestrazzi, 2001).
Il carotaggio CNC4 è stato effettuato all’interno del progetto CARG (CARtografia Geologica) per la realizzazione del Foglio 107 “Portograuro” e la stratigrafia riassuntiva è stata pubblicata assieme ai dati relativi alle analisi paleontologiche e polliniche nelle note illustrative (Fontana et al., 2012).

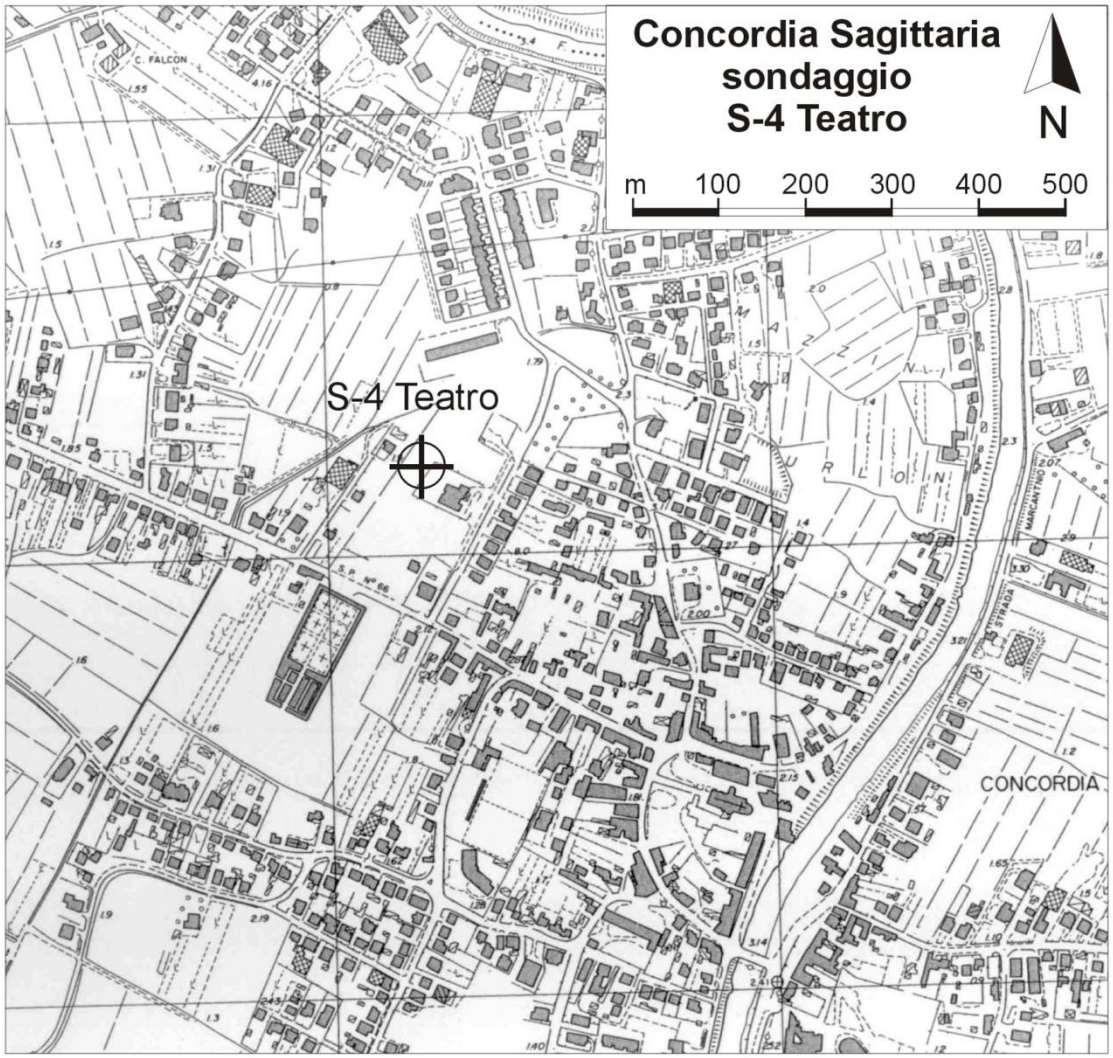
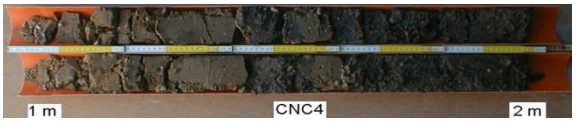
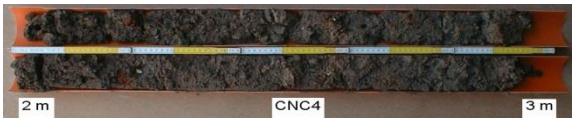
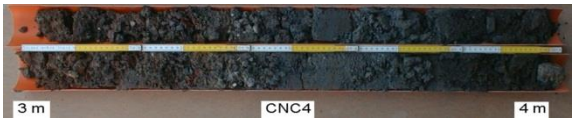


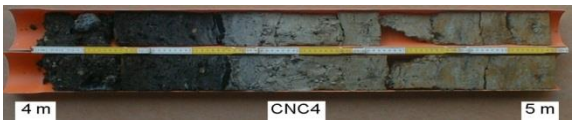
Fig. 7.1 Ubicazione sondaggio CNC4

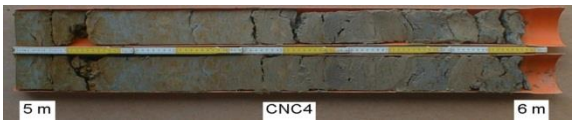
7.1 Fotografie sondaggio CNC4

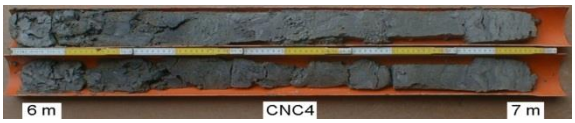


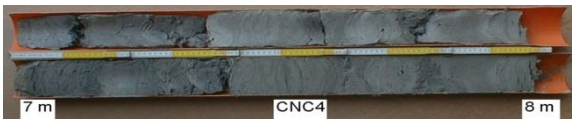


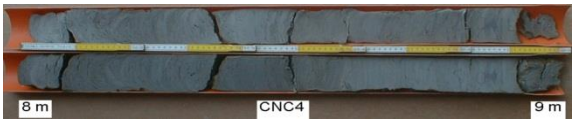


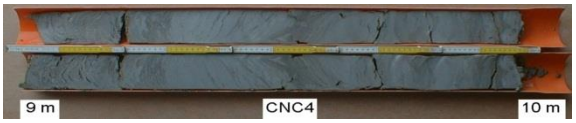


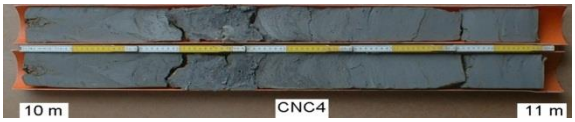


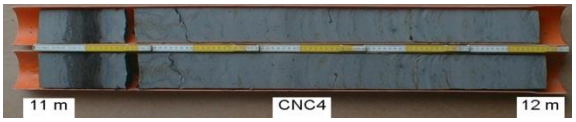


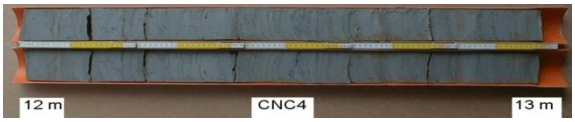


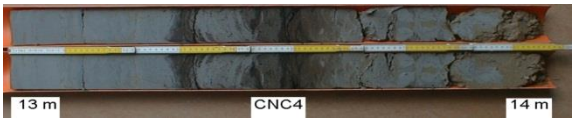


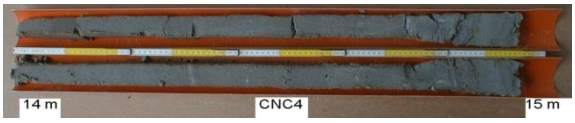


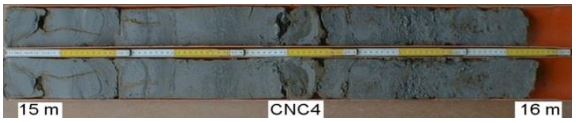


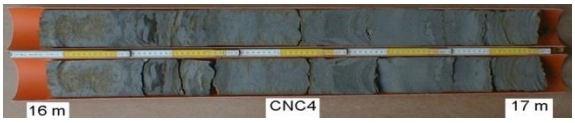


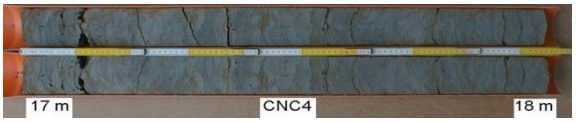


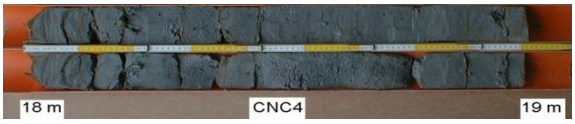


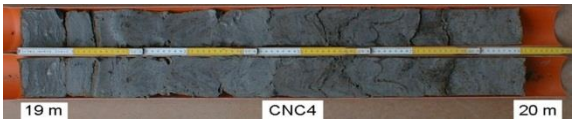


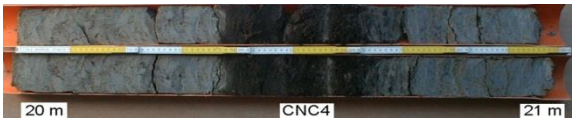


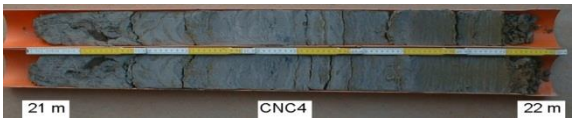


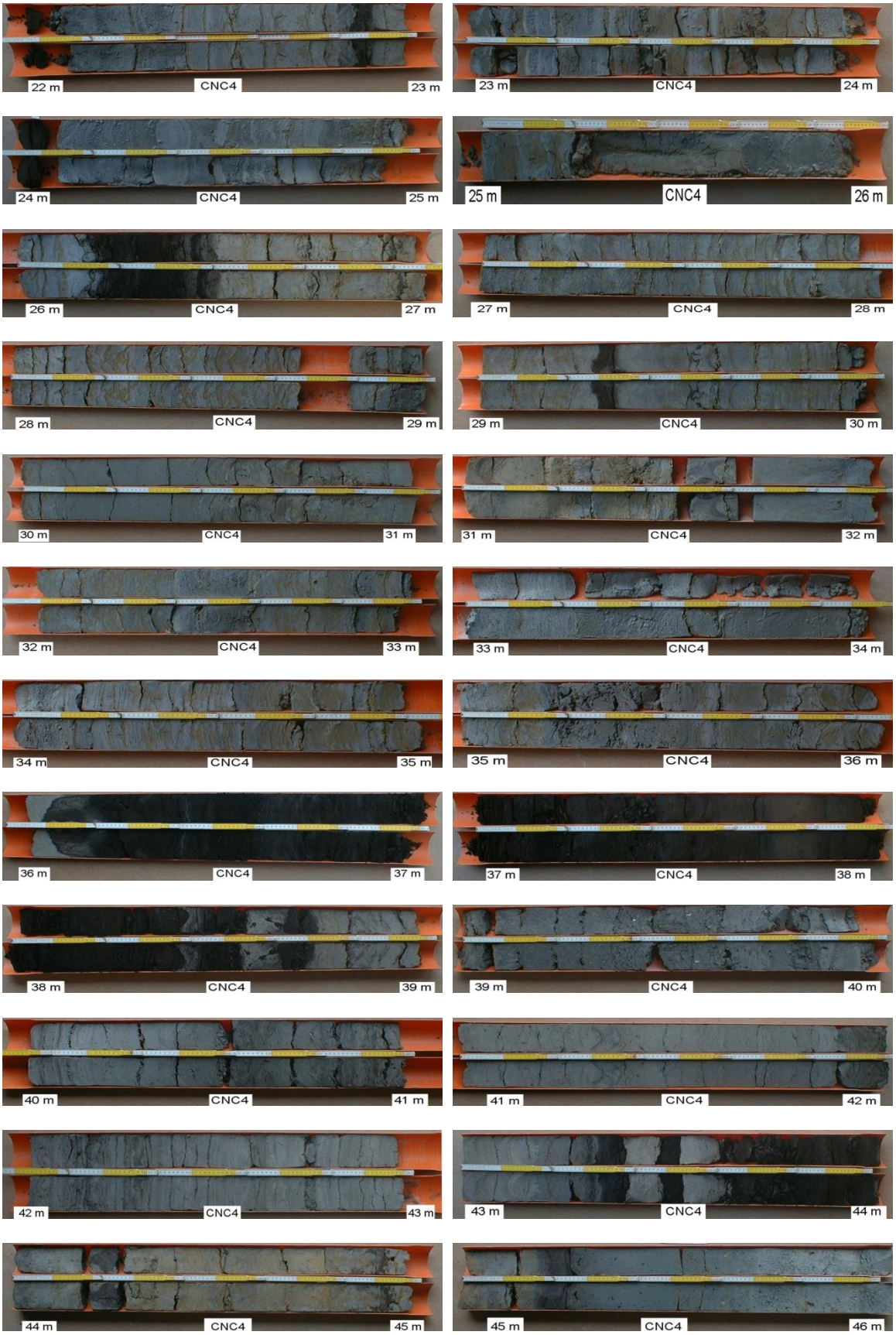


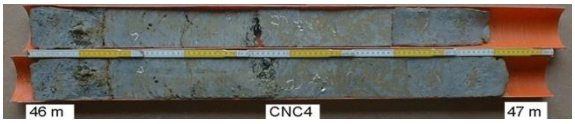


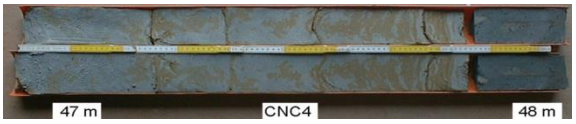


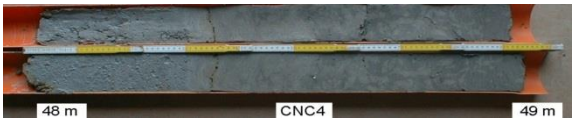


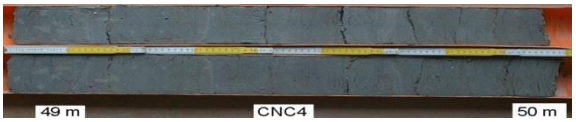


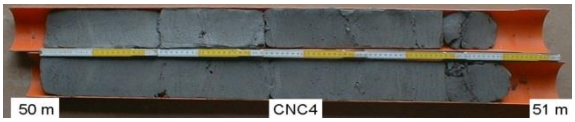

22 m CNC4 23 m
23 m CNC4 24 m
24 m CNC4 25 m
25 m CNC4 26 m
26 m CNC4 27 m
27 m CNC4 28 m
28 m CNC4 29 m
29 m CNC4 30 m
30 m CNC4 31 m
31 m CNC4 32 m
32 m CNC4 33 m
33 m CNC4 34 m
34 m CNC4 35 m
35 m CNC4 36 m
36 m CNC4 37 m
37 m CNC4 38 m
38 m CNC4 39 m
39 m CNC4 40 m
40 m CNC4 41 m
41 m CNC4 42 m
42 m CNC4 43 m
43 m CNC4 44 m
44 m CNC4 45 m
45 m CNC4 46 m


46 m
CNC4
47 m

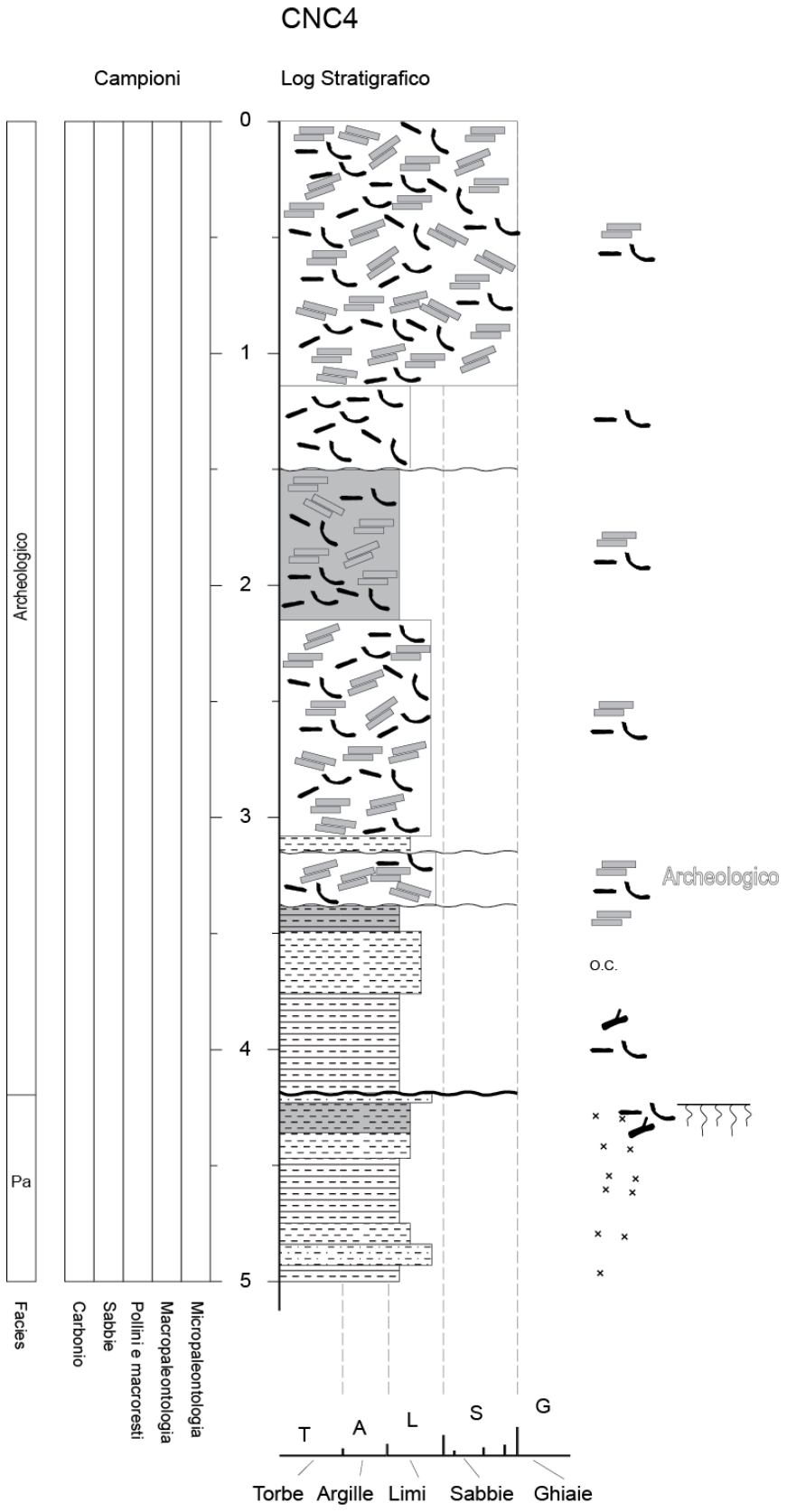

47 m
CNC4
48 m

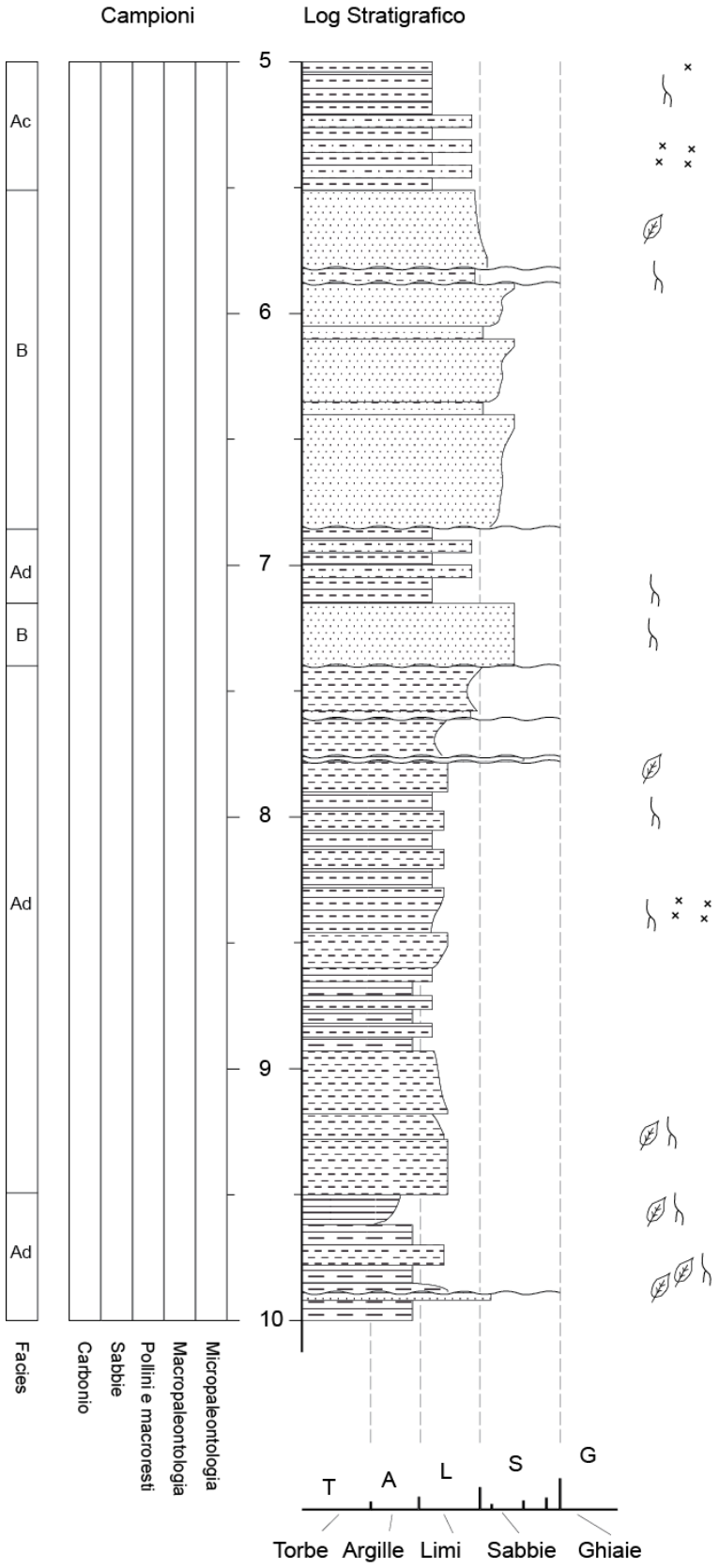

48 m
CNC4
49 m

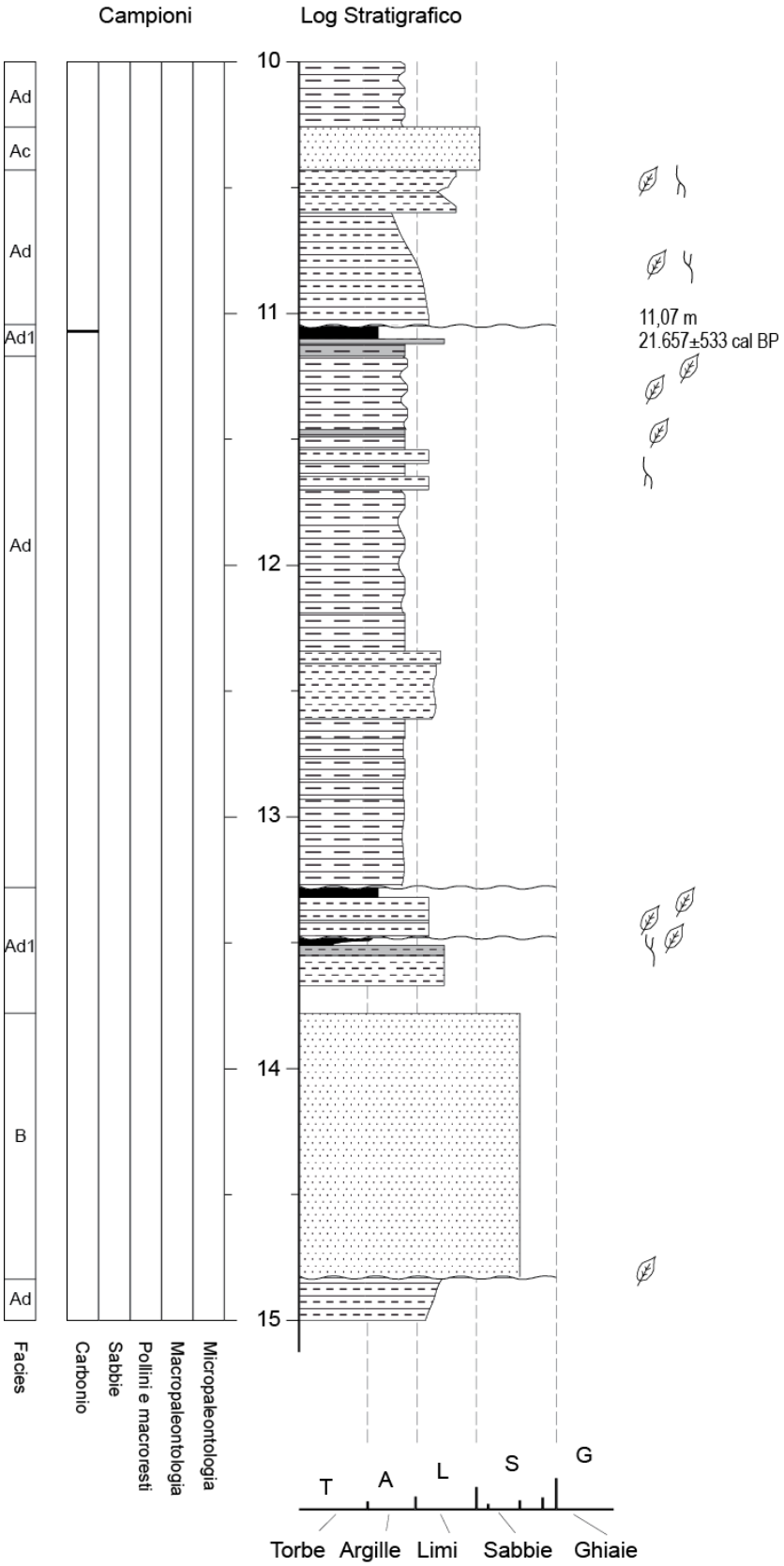

49 m
CNC4
50 m

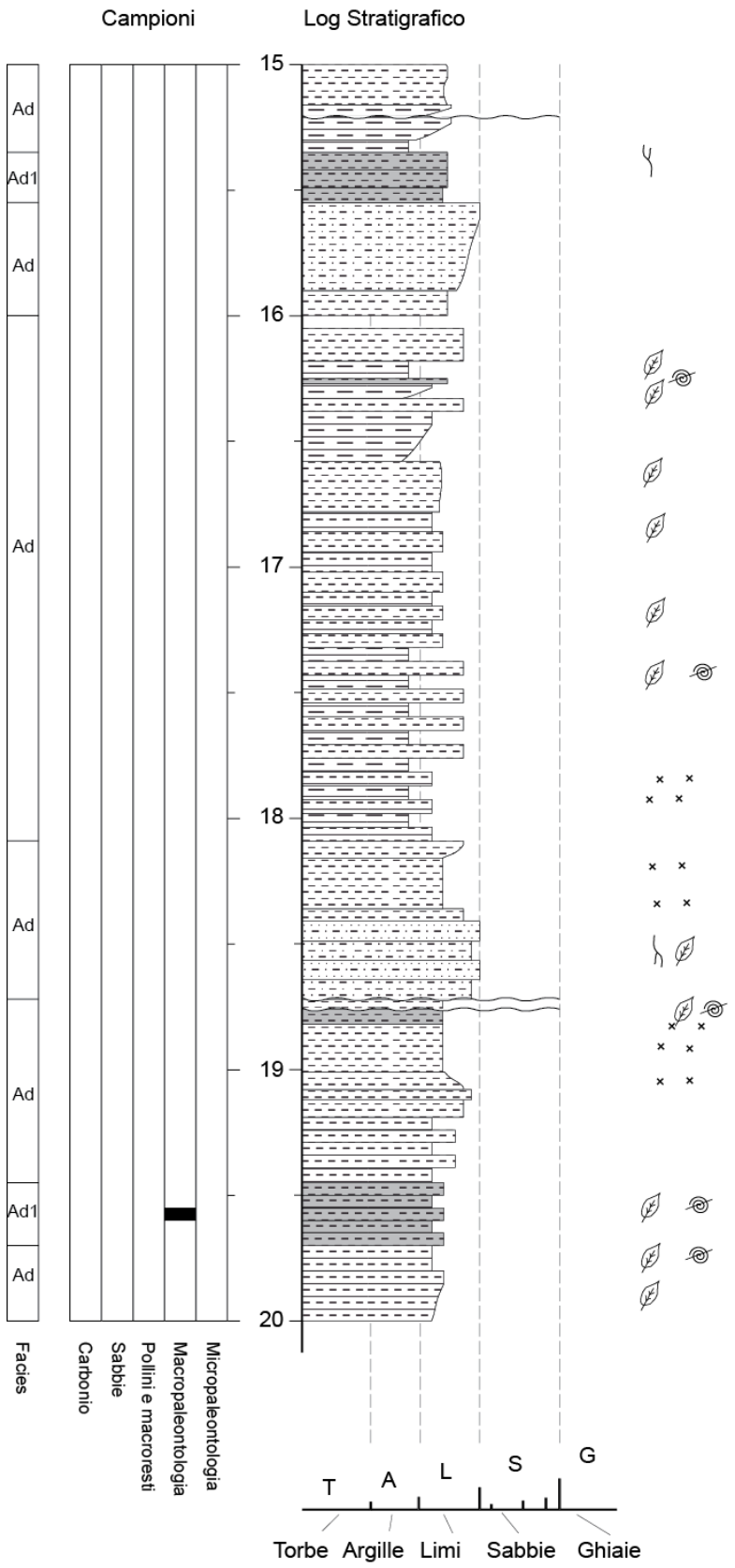

50 m
CNC4
51 m

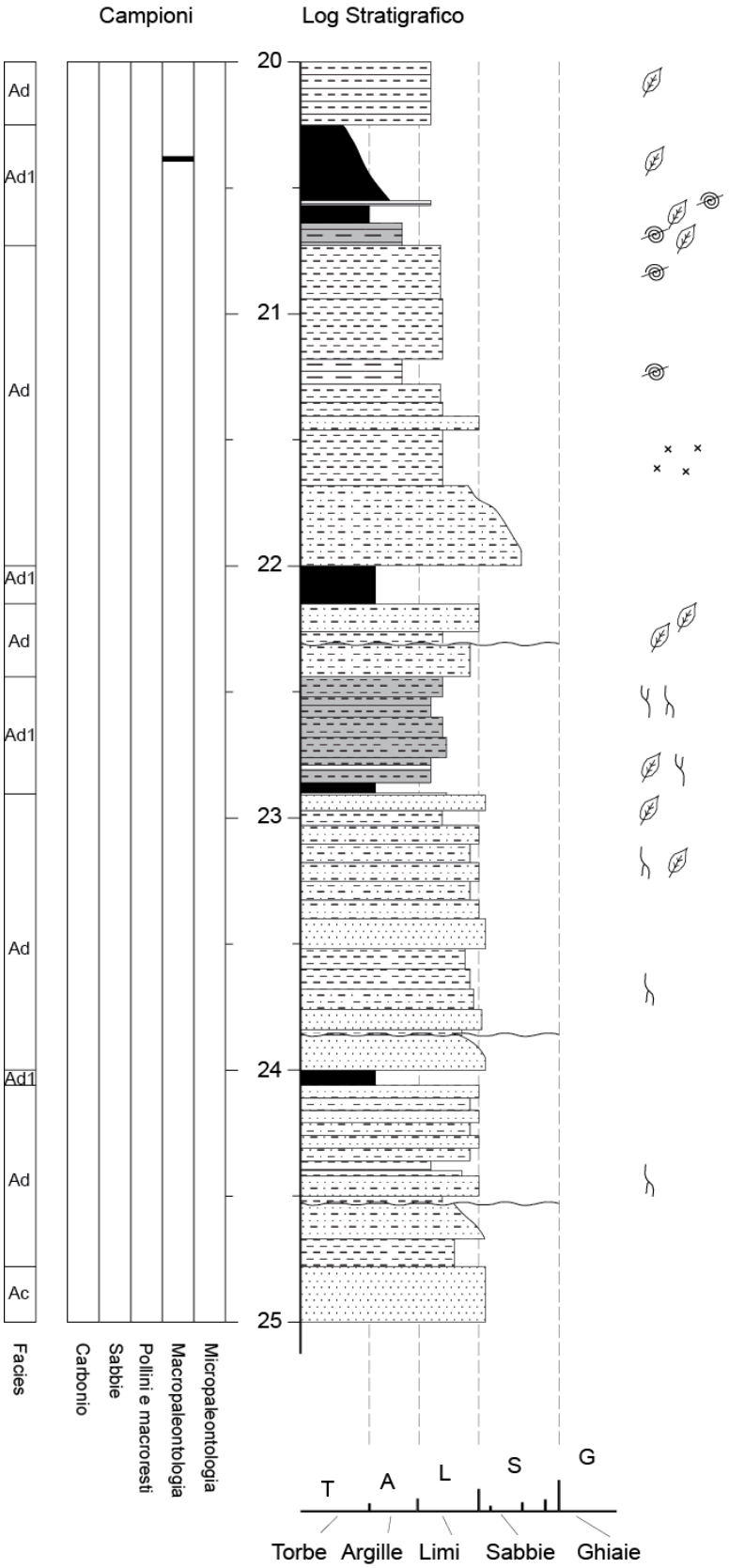
7.2 Log stratigrafico sondaggio CNC4

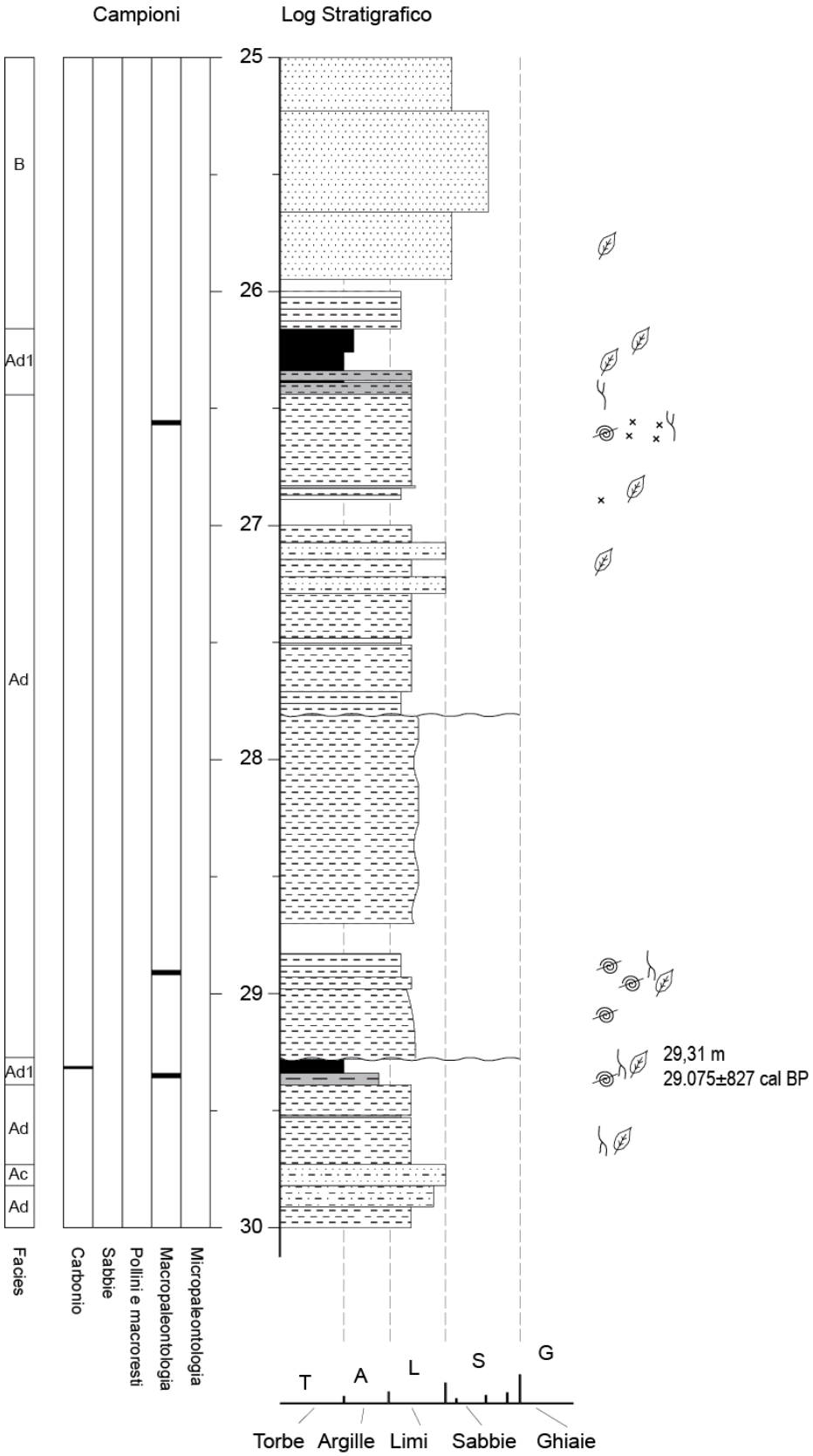


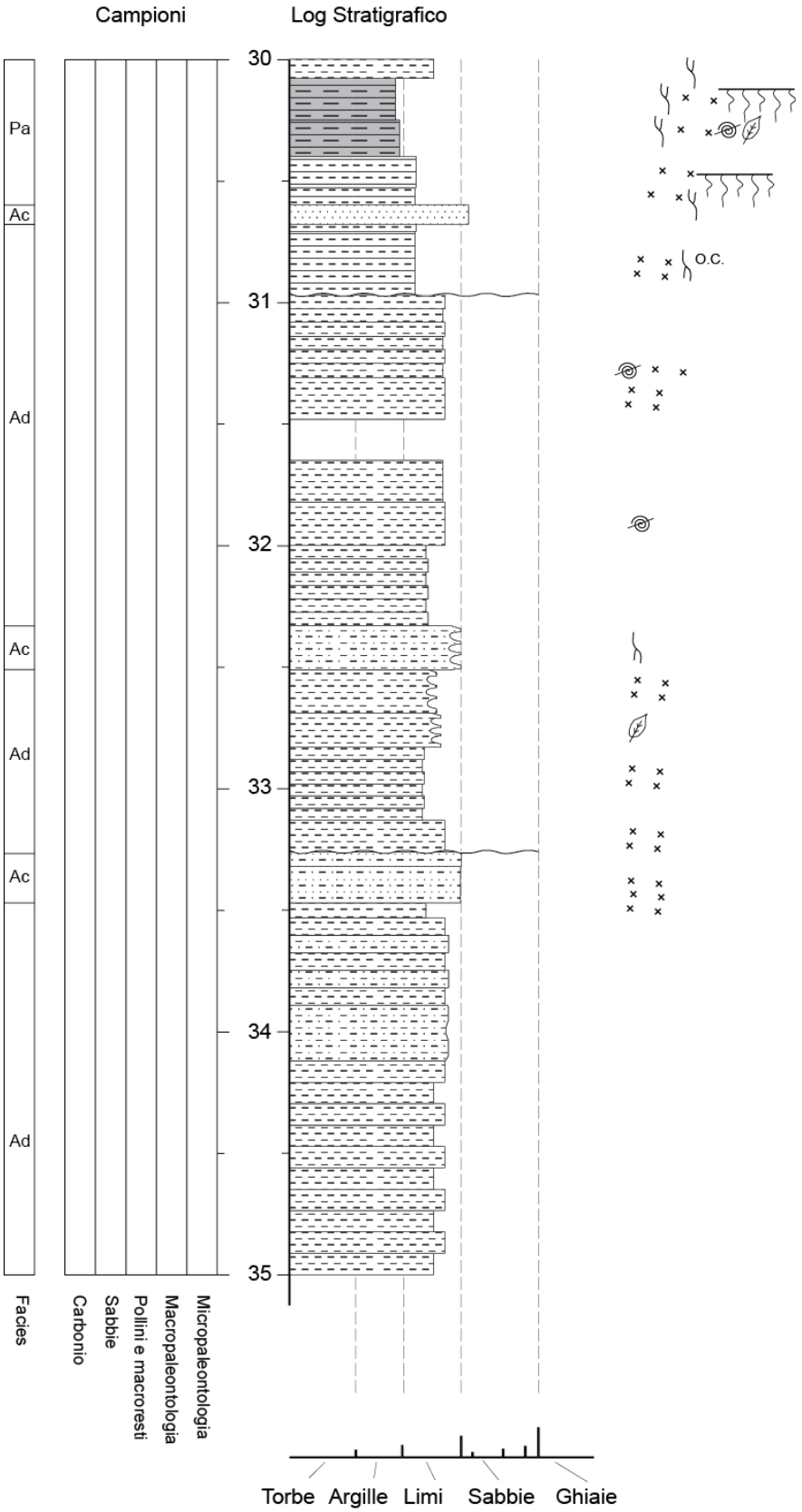

Campioni
Log Stratigrafico
Ac
B
Ad
B
Ad
Ad
5
6
7
8
9
10
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

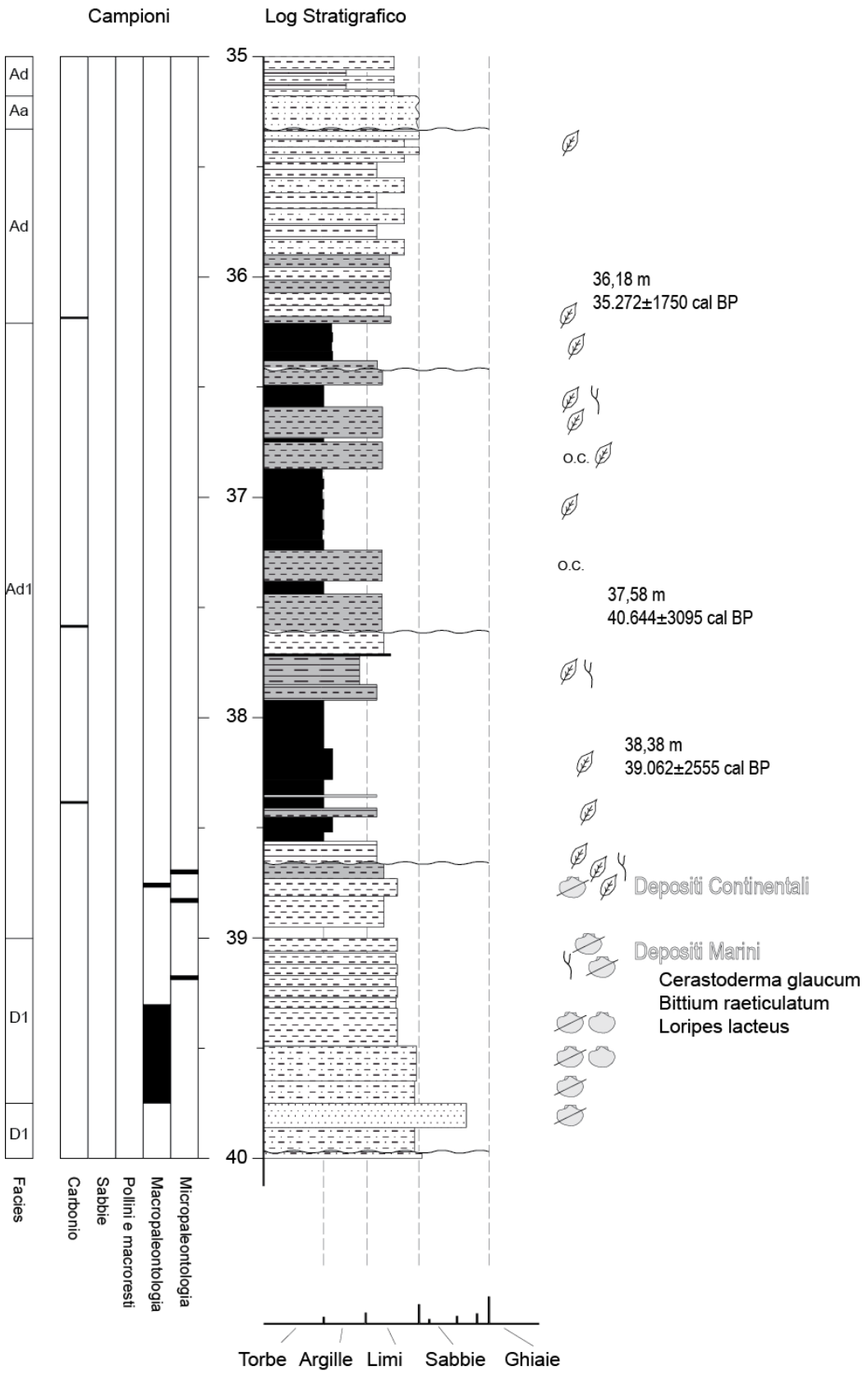

Campioni
Log Stratigrafico
Ad
Ac
Ad
Ad1
Ad
Ad1
B
Ad
10
11
12
13
14
15
11,07 m
21.657±533 cal BP
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

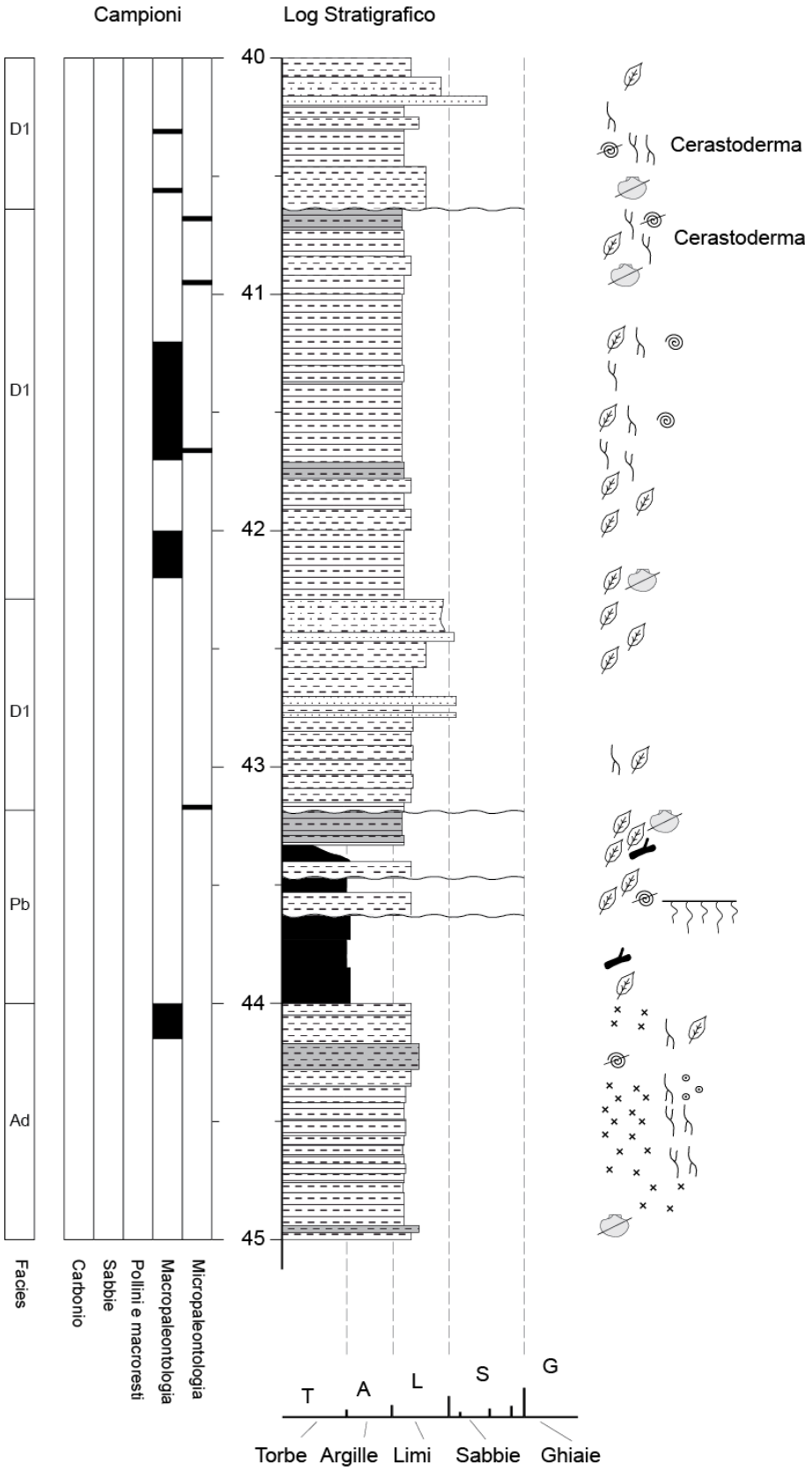

Campioni
Log Stratigrafico
15
16
17
18
19
20
Ad
Ad1
Ad
Ad
Ad
Ad
Ad1
Ad
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

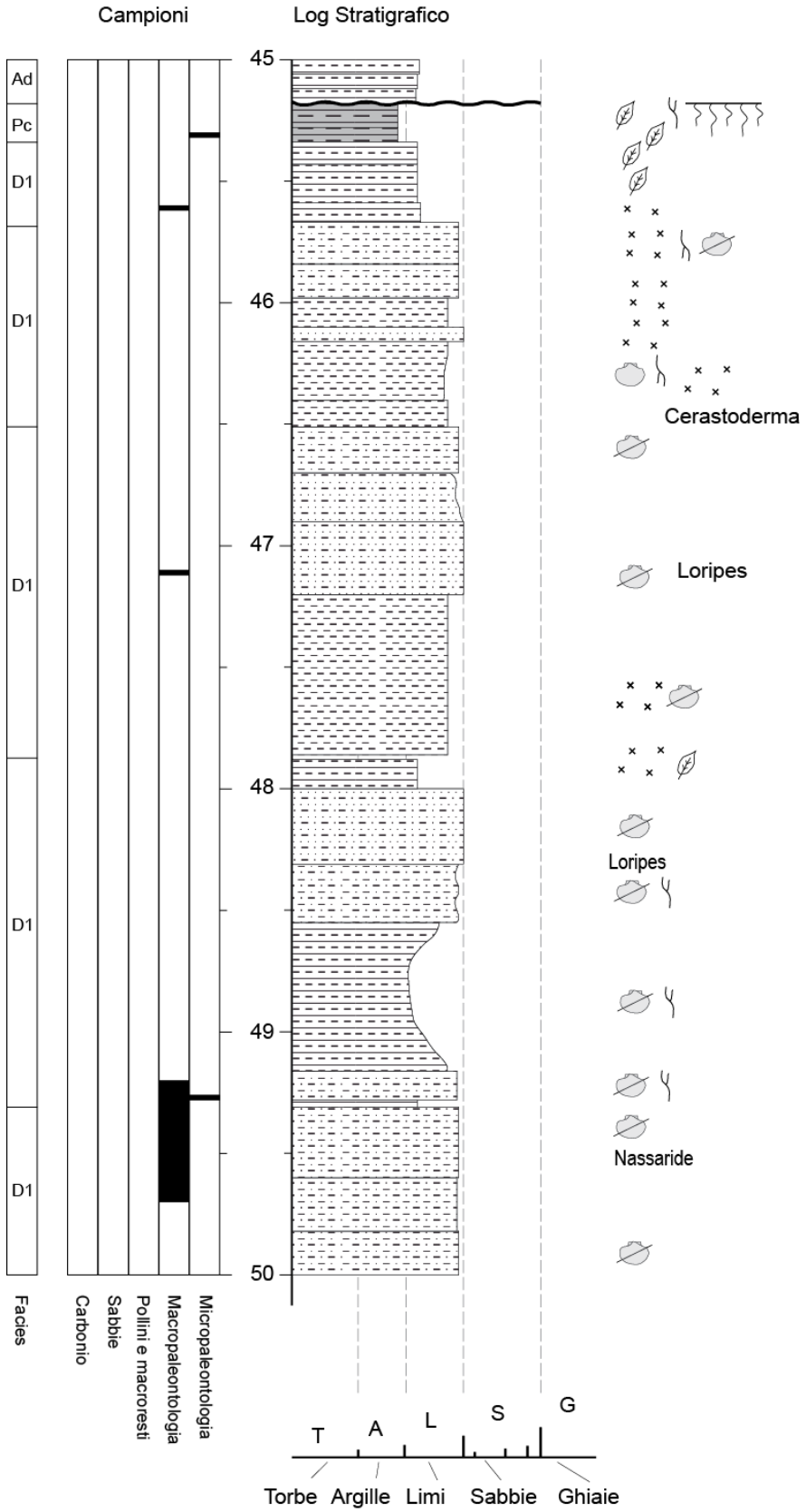

Campioni
Log Stratigrafico
Ad
Ad1
Ad
Ad1
Ad
Ad1
Ad
Ad1
Ad
Ac
20
21
22
23
24
25
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

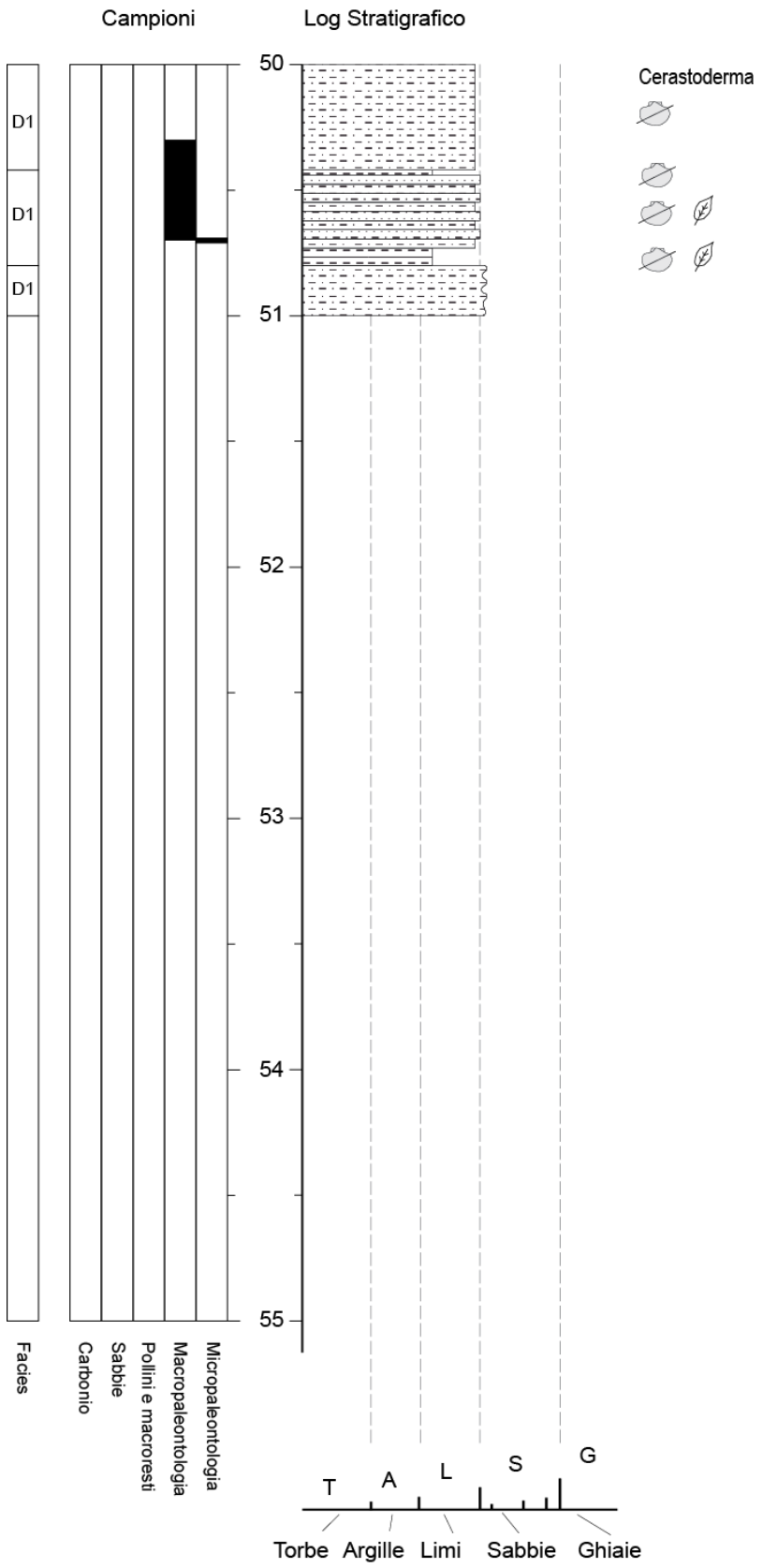

Campioni
Log Stratigrafico
25
26
27
28
29
30
B
Ad1
Ad
Ad1
Ad
Ac
Ad
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
29,31 m
29.075±827 cal BP
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
30
31
32
33
34
35
Pa
Ac
Ad
Ac
Ad
Ac
Ad
O.C.
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
Ad
Aa
Ad
Ad1
D1
D1
35
36
37
38
39
40
36,18 m
35.272±1750 cal BP
o.c.
o.c.
37,58 m
40.644±3095 cal BP
38,38 m
39.062±2555 cal BP
Depositi Continentali
Depositi Marini
Cerastoderma glaucum
Bittium raeticulatum
Loripes lacteus
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
40
41
42
43
44
45
D1
D1
D1
Pb
Ad
Cerastoderma
Cerastoderma
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
Ad
Pc
D1
D1
D1
D1
D1
45
46
47
48
49
50
Cerastoderma
Loripes
Loripes
Nassaride
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie


Campioni
Log Stratigrafico
Cerastoderma
D1
D1
D1
50
51
52
53
54
55
Facies
Carbonio
Sabbie
Pollini e macroresti
Macropaleontologia
Micropaleontologia
T
A
L
S
G
Torbe
Argille
Limi
Sabbie
Ghiaie

7.3 Descrizione in dettaglio del sondaggio CNC4

51,00-50,80 m: Limi con sabbia (fino al 25%) passanti a limi grossolani con sabbie 10%, laminazione sub-centimetrica, colore 5Y 5/1, HCl=4.

50,80-50,73 m: Alternanze laminate di limi con sabbie e limi con argilla, limi più argillosi e stratificazione planare, limite inferiore graduale.

50,73-50,44 m: Alternanze laminate di limi con sabbie e limi con argilla di colore 2,5Y 5/1, lamine di 2-3mm; stratificazione incrociata a basso angolo; frammenti vegetali a 50,70 m. Frammenti di molluschi salmastri 3%; limite inferiore graduale.

50,44-50,42 m: Limi con argilla (20%), colore 7-6/10Y, frammenti di molluschi salmastri, *Cerastoderma*, limite inferiore netto.

50,42-49,82 m: Limi sabbiosi (30%), 2,5Y 5/1, HCl=4; laminazione subcentimetrica; limite inferiore netto. Tra 50,20 e 50,35 m probabile presenza di *ripples*; frammenti di bivalvi 3%.

49,82-49,60 m: Limi grossolani con sabbia (20%) e argilla (20%), colore 2,5Y 5/1; HCl=4; presenza di stratificazione incrociata e lamine millimetriche e sub-centimetriche tra termini più o meno argillosi. Presenza di *Cerastoderma*. Limite inferiore graduale.

49,60-49,31 m: Limi grossolani con sabbie (20%) e argille (15%), colore 2,5 Y 5/1, HCl=4; laminazioni sub-centimetriche poco evidenti frammenti di molluschi salmastri. A 49,40 m un frammento di gasteropode turricolare grande tipo *Nassaride*.

49,31-49,28 m: Limi con argilla (18%), colore 5Y 6-5/1, HCl=4; limite inferiore netto.

49,28-49,16 m: Limi grossolani con sabbie (20%) e argille (20%), 2,5Y 6/2-1; HCl=3; con stratificazione incrociata e lamine millimetriche tra 49,17,49,23 m; porzioni biancastre di 5 mm tonde, probabilmente bioturbazioni. Limite inferiore netto; presenza di molluschi salmastri.

49,16-48,55 m: Limi con argille (20%) e sabbie (20%), colore 5Y 5/1-2; HCl=3; abbondante presenza di probabili bioturbazioni larghe fino a 1 cm. bordi arrotondati e direzione verticale. riempite con sedimento dello strato soprastante. Frammenti di molluschi salmastri 5%; limite inferiore graduale.

48,55-48,31 m: Limi con sabbia fino al 30%, colore 5Y 6/2, HCl=4, frammenti di bivalvi salmastri (*Cerastoderma*, *Loripes* e *Mactra* piccole?). Da 48,40 m sono visibili bioturbazioni; limite inferiore irregolare bioturbato.

48,31-48,00 m: Sabbie limose (20%) < 200µm, colore 7/10Y; HCl=3-4, clasti poligenici probabilmente di provenienza dal bacino del Tagliamento o Piave. Frammenti e singole valve di conchiglie di bivalvi salmastri (*Cerastoderma* e *Loripes*) con principi di dissoluzione; limite inferiore netto.

48,00-47,88 m: Limi con argilla (25%) e sabbie (5%), colore 5/5 BG, HCl=1; concrezioni carbonatiche dure e soffici 2 mm, 8%; presenza di frammenti vegetali comuni millimetrici; testa rimaneggiata dalla manovra (eliminati 10 cm); limite inferiore non noto.

47,88-47,86 m: Campione rimaneggiato.

47,86-47,20 m: Limo grossolano con argilla (15%) e sabbia (15%); colore 6/10Y; HCl=4; concrezioni carbonatiche dure fino a 7 mm, al tetto 10%, nel resto dello strato 1-2 mm, 3%. Frammenti rari di molluschi non classificabili; limite inferiore non noto per manovra. Notevoli ossidazioni della carota non esistenti al momento dell'estrazione.

47,20-46,90 m: Sabbie limose fini, colore 6/10Y; HCl=4, presenza di valve di bivalvi (*Cerastoderma* e *Loripes*) 5%, conchiglie dissolte come negli strati soprastanti, limite inferiore graduale.

46,90-46,70 m: Da limi sabbiosi a sabbie limose, granulometria crescente verso il fondo. Colore 6/10Y; HCl=4; minor presenza di molluschi 5% del livello sottostante.

46,70-46,51 m: Limi sabbiosi grossolani di colore 6/10Y; HCl=4, valve di *Cerastoderma* come negli strati sottostanti; forse altri molluschi più fini non determinabili (quasi disciolti), molluschi presenti fino a 15%; limite inferiore graduale.

46,51-46,40 m: Limi con sabbie (20%) e argilla (20%), presenza di *Cerastodermae* limite inferiore graduale.

46,40-46,16 m: Limi con sabbie (25%), e argille (10%), colore 7/10Y; presenza di concrezioni carbonatiche dure, 2 mm, 5%; HCl=4; presenza di valve di *Cerastoderma* 3% molto bianche e con gusci molto grossi e, seppur intere, notevolmente fratturate, forse per dissoluzione pedogenetica; radici fino a 3 mm; limite inferiore graduale.

46,16-46,10 m: Sabbie limose fini, colore 7-6/10Y; HCl=4; concrezioni dure in blocchi fino a 2 cm, limite inferiore graduale.

46,10-45,98 m: Limi con sabbia e argilla, colore 5/10Y, HCl=4, concrezioni carbonatiche dure di 2 mm 10-15%, limite inferiore graduale.

45,98-45,84 m: Limi sabbiosi (30%), colore 6/10Y; HCl=4, screziature di colore 2,5Y 6/4, 10%, concrezioni carbonatiche dure 10%, 2 mm, presenza di *Cerastoderma*; limite inferiore netto.

45,84-45,67 m: Limi sabbiosi (40-50%) con argilla (15%), colore 6/5GY-10Y, HCl=4 violento; screziature 2,5Y 6/4 4 mm orizzontali, 20%. Tracce di radici concrezioni carbonatiche dure 2-4 mm, 20%, anche soffici; limite inferiore graduale. Al fondo frammenti di faune lagunari (*Cersatoderma*).

45,67-45,59 m: Limi argillosi con sabbia (fino al 40%); HCl=3; screziature di colore 2,5Y 6/6fino al 20%; concrezioni carbonatiche dure 2-7 mm 10%; limite inferiore graduale.

45,59-45,43 m: Limi argillosi (20%) con sabbia (dal 15% fino al 30% al fondo). colore 5/5GY; HCl=1; con screziature 2,5Y 6/6, 2 mm soprattutto alla base, ultimi 4 cm 10%; macroresti vegetali; limite inferiore graduale.

45,43-45,34 m: Limi argillosi (30%), con sabbie (15%), colore 5/5GY; HCl=1; GLEY, presenza di frammenti vegetali interi e decomposti.

45,34-45,28 m: Argille limose, colore 2,5Y 5/1, HCl=1-2; con sostanza organica dispersa; presenza abbondante di frammenti vegetali e macroresti. Limite inferiore graduale.

45,28-45,18 m: Argille limose organiche. Orizzonte (O) di suolo sepolto. Colore 2,5Y 4/1, HCl=0. Evidenti bioturbazioni al tetto con presenza di crotovina. Bioturbazioni minori in tutto lo strato. Frammenti vegetali e di sostanza di colore rosso vivo (ocra) sub-millimetrici; limite inferiore non noto per manovra. Probabile transizione graduale allo strato 45,34-45,28 m.

45,18-45,00 m: Limi argillosi (25%), 2,5Y 6-5/2; HCl=4; limite inferiore erosivo.

45,00-44,97 m: Limi con argilla (20%); HCl=4; 7-6/10Y; notevolmente in contrasto con le sequenze soprastanti e sottostanti.

44,97-44,94 m: Limi organici di colore 2,5Y 3/2; HCl=3-4, presenza di frammenti di molluschi, fluidificato dalla manovra; limite inferiore abrupto.

44,94-44,80 m: Limi argillosi (20%), colore 2,5Y 5/2; HCl=4; presenza di concrezioni carbonatiche dure 2 mm, 3%; problema di carotaggio che ha creato liquefazione e iniezione di sedimenti organici; limite inferiore irregolare.

44,80-44,56 m: Limi argillosi (25%), colore 6/10Y, HCl=4; notevole presenza di bioturbazioni e probabili radici di colore 5-4/10Y; concrezioni carbonatiche soffici 1-2 mm, 10%; limite inferiore non noto.

44,56-44,49 m: Limi argillosi (20%), colore 2,5Y 5/2; HCl=4; concrezioni carbonatiche soffici 2 mm, 20% e dure, 1mm 3%. Tracce di radici; limite inferiore disturbato da bioturbazione.

44,49-44,35 m: Limi argillosi (25%), HCl=4, con bioturbazioni scure concrezioni carbonatiche dure 2-3 mm, 8%; limite inferiore irregolare.

44,35-44,28 m: Limi con argilla 15% di colore 6/10Y, HCl=4, tracce di radici scure di colore 5-4/10Y, con cristalli di pirite all'interno; concrezioni carbonatiche dure 2 mm, 5%; limite inferiore graduale.

44,28-44,17 m: Carota fortemente disturbata dal sondaggio, formata da limi organici di colore 2,5Y 3/2; HCl=4; presenza di molluschi probabilmente continentali; limite inferiore non noto per carotaggio.

44,17-44,05 m: Limi con argilla di colore 2,5Y 6-5/1, HCl=4; presenza di concrezioni carbonatiche dure 2-3 mm, 10% al tetto e 5% nel resto dello strato. Tracce di radici scure e frammenti vegetali decomposti; limite inferiore non noto per problemi di carotaggio.

44,05-44,00+21 m: Limi con argilla 18%, colore 2,5Y 6-5/1; HCl=4; concrezione carbonatica dura 3 mm, 2%; frammenti rari di molluschi.

44,00+21-44,00+07 m: Limi argillosi organici di colore 2,5Y 4-3/2; HCl=3; presenza di concrezioni carbonatiche dure 1 mm, 3%; frammenti vegetali e abbondanti frammenti di molluschi, probabilmente continentali e 2 gasteropodi continentali con ornamentazione parallela all'avvolgimento di colore rosso (Chiostomi?); limite inferiore transizionale con lamine di 2 mm; presenza di bioturbazioni.

44,00+07-44,00+05 m: Limi torbosi di colore 2,5Y 3/2; HCl=0; limite inferiore netto.

44,00+05-44,00+04 m: Limi chiari, strato con spessore inferiore a 1 cm.

44,00+04-44,00 m: Limi torbosi e limi organici con laminazione, colore 2,5 3/1; HCl=1; limite inferiore irregolare, ben digeriti; da 44,00 a 44,01 più chiaro (2,5Y 3/2).

44,00-43,85 m: Torbe limose di colore 2,5Y 3/1-2; con macroresti e stratificazione evidente.

43,85-43,73 m: Torbe molto ben conservate con probabile legno molto grande a 43,75 m; 2,5Y 2,5/1; stratificazione evidente.

43,73-43,63 m: Limi torbosi di colore 2,5Y 3/1; limite inferiore graduale.

43,63-43,53 m: Limi con argilla passanti da un colore 2,5Y 6/1; HCl=4 a 2,5Y 5/1-2; HCl=3; frammenti vegetali decomposti al fondo frammenti di molluschi e laminazioni (2mm); limite inferiore irregolare probabilmente erosivo.

43,53-43,47 m: Torbe ben addensate di colore 10YR 2/1; macroresti vegetali, limite inferiore netto abrupto.

43,47-43,40 m: Limi con argilla (15%), colore 5Y 6-7/1; HCl=4; limite inferiore erosivo irregolare (evento alluvionale singolo?) Al tetto presenza di frammenti di molluschi, forse però iniettati dal sondaggio.

43,40-43,33 m: Da limo torboso a torbe con colore 2,5Y 2,5/1; abbondante presenza di semi (8 esemplari), macroresti vegetali al fondo, forse legno, limite inferiore ondulato, irregolare.

43,33-43,32 m: Limo argilloso di colore 6/10Y; HCl=4 con macroresti vegetali e limite inferiore ondulato.

43,32-43,29 m: Limi argillosi con sostanza organica, colore 2,5Y 3/1; HCl=1; laminazioni millimetriche e sub-millimetriche con resti organici; presenza di macroresti vegetali fra cui semi tondi (1 mm); limite inferiore graduale.

43,29-43,19 m: Limi argillosi (30%) con sostanza organica dispersa; colore 5/10Y; HCl=3; frammenti vegetali millimetrici e frammenti di molluschi a guscio sottile bianco (bivalvi); limite inferiore graduale.

43,19-43,15 m: Limi argillosi (28%); colore 6/10Y; HCl=4; frammenti vegetali millimetrici; limite inferiore erosivo, irregolare.

43,15-42,74 m: Limi con argilla 15% e sabbia (10%) in laminazioni millimetriche, colore 6/10Y, talvolta alternate con lamine più organiche; tracce di radici decomposte (2 mm); livello sabbioso limoso tra 42,77-42,79 m; frammenti organici decomposti millimetrici al fondo dove è più argilloso; limite inferiore ondulato.

42,74-42,70 m: Sabbie fini, colore 2,5Y 6/1-2; HCl=4, laminazioni anche con sostanza organica, limite inferiore netto.

42,70-42,58 m: Limi con argilla (20%) e sabbia (10%), laminazioni da centimetriche a sub-centimetriche di colore 6/10Y; HCl=3; lamine più ricche in sostanza organica al fondo; limite inferiore netto.

42,58-42,547m: Limi grossolani con argilla (20%) e sabbia (20%); 6/10Y; HCl=4; evidente laminazione millimetrica e sub-centimetrica, frammenti vegetali abbondanti a 42,58 m. Limite inferiore graduale.

42,47-42,43 m: Sabbie limose di colore 2,5Y 5/2; HCl=4; evidente stratificazione centimetrica con frammenti vegetali disposti in laminazioni; limite inferiore netto.

42,43-42,29 m: Alternanze centimetriche di limi con argilla (20%) e sabbia (10%) e limi sabbiosi (fino a 30%); colore 6/10Y; HCl=4, presenza di macroresti vegetali e livello più ricco a 42,34 m ; limite inferiore netto.

42,29-42,00+40 m: Ci sono 40 cm di carota in avanzo alla testa della manovra, la base è a 42,20 m. Limi argillosi (25%), HCl=4; colore 6/10Y, laminazione poco evidente, presenza di frammenti vegetali, talvolta in livelli (42,00+02; 42,00+16; 42,00+32); comune presenza di frammenti di molluschi a guscio molto sottile, a 42,00+32 molto abbondanti; macroresti.

42,00-41,91 m: Limo con argilla di colore 5/10Y, HCl=3, con abbondanti frammenti vegetali e laminazioni millimetriche con lamie più scure.

41,91-41,84 m: Limi argillosi, colore 6-7/10Y; HCl=4, limite inferiore netto.

41,84-41,78 m: Limi con argilla di colore 6-7/10Y; HCl=4; frammenti vegetali.

41,78-41,71 m: Limi argillosi con sostanza organica dispersa colore 6/10Y; HCl=3; presenza di bioturbazioni poco evidenti, limite inferiore ondulato.

41,71-41,37m: Limi argillosi di colore 5/10Y, HCl=4; frammenti vegetali piccoli e presenza di gasteropodi turricolari biancastri (2-3 mm); limite inferiore irregolare, probabilmente bioturbato.

41,37-41,30 m: Limi argillosi (25%), con livelli più scuri; colore 5/10Y, ricchi in frammenti vegetali millimetrici; limite inferiore netto, ma ondulato dal carotaggio.

41,30-41,00 m: Limi argillosi (25%), colore 6/10Y, HCl=4; frammenti vegetali e radici, frammenti di molluschi con guscio sottile bianco e numerosi gasteropodi turricolari biancastri (2-3 mm);limite inferiore netto, ma ondulato da carotaggio.

41,00-40,84 m: Sequenze ritmiche di limi con argilla (20%), biancastri di 3 cm (7-6/10Y) e limi argillosi (5-4/10Y) di 2 cm. Presenza di parti di piante stratificate orizzontalmente nelle parti più scure, spesso per le lamine più scure esistono 2 livelli separati da 2 mm di limo 1biancastro; HCl=4. Frammenti di molluschi. Sembrano ritmiti legate a depositi di marea.

40,84-40,73 m: Limo argilloso di colore 6/10Y, HCl=4; presenza di frammenti di molluschi (*Cerastoderma*), gasteropodi bianchi turricolari (2-3 mm), frammenti vegetali; limite inferiore irregolare, probabili bioturbazioni.

40,73-40,64 m: Limi argillosi di colore 5-4/10Y; HCl=3; abbondante presenza di frammenti vegetali e sostanza organica dispersa nella matrice; molti gasteropodi bianchi turricolari (2-3 mm); presenza di gallerie da bioturbazione 2-3 mm; limite inferiore graduale.

40,64-40,46 m: Limi grossolani con argilla (20%) e sabbia (20%), con frequenti molluschi interi e frammenti; da 40,60 m al bottom abbondantissima presenza di tritume conchigliare (fino al 50%) Cerastoderma, Loripes, gasteropodi minuti bianchi turricolari (*Setia*?); colore 5/10Y; HCl=3. Bioturbazioni al tetto e presenza di 3 esemplari di *Natica* (?) ma potrebbe essere anche *Textudinariusfluviatilis* (?) 3 mm e *Cerastoderma*. Al fondo frammenti vegetali dall'orizzonte sottostante; limite inferiore erosivo.

40,46-40,30 m: Limi argillosi (25%), colore 6/10Y; HCl=4; radici verticali 2 mm. Da 40,46 m a 40,36 m presenza di gasteropodi turricolari (2-3 mm), solo 1 tipo di specie (*Setia*?); limite inferiore bioturbato. Probabilmente ambiente poco salmastro.

40,30-40,20 m: Alternanze sub-centimetriche di limi argillosi, colore 6/N-10Y e limi grossolani sabbiosi di colore 6/10Y, HCl=4; radici 2 mm verticali. Limite inferiore graduale.

40,20-40,16 m: Sabbie medie con limo, colore 5/10Y; HCl=4; assenza di molluschi.

40,16-40,00 m: Alternanze sub-centimetriche di limi con argilla e limi sabbiosi, colore 6/10Y, HCl=4; al fondo frammenti vegetali, forse radici, assenza di molluschi salmastri. Limite inferiore netto.

40,00-39,97 m: Sabbie limose medie di colore 5Y 5/1; HCl=4; assenza di faune macroscopiche, limite inferiore netto.

39,97-39,86 m: Limi con sabbia (20%), colore 7-6/10Y; HCl=4; laminazioni millimetriche, livello sabbioso medio grossolano tra 39,92-39,91 m. Limite inferiore netto, forse erosivo.

39,86-39,75 m: Sabbie medio-grossolane con limo, colore 5Y 5/1; HCl=4; frammenti di molluschi.

39,75-39,65 m: Limo sabbioso (30%) con argilla (20%), colore 6/10Y-N, HCl=4; probabile presenza di alternanze; presenza di molluschi salmastri; limite inferiore regolare.

39,65-39,49 m: Limi sabbiosi grossolani (400 μm). Limite inferiore netto.

39,49-39,32 m: Limi grossolani con argilla (20%) e sabbia (10%), da 39,39 m abbondanti frammenti di molluschi e molluschi interi, fino al 25 %; 5/10Y-5/6Y; HCl=4; la granulometria sembra aumentare verso il fondo; percentuale abbondantissima di *Bittium* e *Venus* (??), piccoli *Mactra* ? (2 mm), *Tellina* (??) e gasteropodi turricolari tipo *Rissoa* (?), presenza di trochidi; limite inferiore graduale.

39,32-39,07 m: Limi grossolani con argilla (20%) e sabbia (15%), 5/10Y, HCl=4; Presenza di bioturbazioni, soprattutto al tetto, di colore leggermente più scuro. Da 39,11 m presenza di frammenti di molluschi salmastri (*Cerastoderma glaucum*, *Bittium raeticulatum*, *Loripes lacteus*, vari bivalvi a guscio sottile biancastri). Limite inferiore graduale.

39,07-39,00 m: Limo grossolano, colore 6-5/10Y, HCl=4; rari frammenti di conchiglie salmastre; limite inferiore non noto per problemi di manovra.

39,00-38,95 m: Manca

38,95-38,81 m: Limi fini con argilla (20%), colore 2,5Y 6/1-2, HCl=4, con alternanze ritmiche di lamine millimetriche di sostanza organica (2,5Y 4/2) e pacchetti di limo inorganico; queste sono riconosciute in 4-5 episodi di potenza di 2-3 cm [potrebbero sembrare *ripples rampants*, ma sono deformati e piegati dal carotaggio, in origine erano orizzontali].

38,81-38,73 m: Limi grossolani con argille (15%), HCl=3; colore 6/10Y-N; forse con screziature di colore 2,5Y 6-5/3; presenza di frammenti di molluschi (probabilmente *Cerastoderma glaucum*, ornamentazione a costolatura) di frammenti vegetali millimetrici; limite inferiore netto.

38,73-38,66 m: Limi torbosi-organici, colore 10YR 3/1, presenza di rari macroresti, limite inferiore graduale, forse bioturbato.

38,66-38,56 m: Limi argillosi (20%), colore 2,5Y 6/2, HCl=2-3, presenza di abbondanti frammenti vegetali e di mollusco (guscio fine); presenza di inclusi di torba al tetto e al letto, quelli al letto sono probabilmente iniettati nello strato dal carotaggio; limite inferiore irregolare-erosivo.Evento alluvionale nelle torbe.

38,56-38,52 m: Torbe limose, colore 10YR 3/1, fittamente stratificate, presenza di macroresti. Limite inferiore ondulato.

38,52-38,45 m: Torbe passanti a torbe limose fittamente stratificate soprattutto al tetto, evidenza di fusti appiattiti. Colore 10YR 3/1; limite inferiore graduale.

38,45-38,41 m: Limi argillosi debolmente organici, colore 2,5Y 5/1; HCl=2-3; presenza di lamine millimetriche ricche di frammenti organici. Limite inferiore netto. Evento alluvionale all'interno delle torbe.

38,41-38,28m: Torbe limose fittamente stratificate, con set di strati accoppiati, di colore 10YR 3/3 e 10YR 3/1, a 38,36 m livello argilloso molto organico colore 10YR 3/2, (8 mm). Limite inferiore ondulato dalla manovra ma in realtà netto.

38,28-38,14 m: Limi torbosi organici, colore 10YR 2/1, fittamente stratificati, presenza di cristalli sub-millimetrici lucenti, frammenti vegetali millimetrici, limite inferiore netto.

38,14-37,92 m: Torbe limose fittamente stratificate con macroresti, colore 10YR 3/1, presenza di cristalli sub-millimetrici lucenti, limite inferiore irregolare.

37,92-37,85 m: Limi argillosi molto organici, colore 2,5Y 2/1, HCl=0; al tetto livello millimetrico di limi torbosi, presenza di laminazioni con sostanza organica, presenza di cristalli sub-millimetrici lucenti limite inferiore graduale.

37,85-37,72 m: Argille limose molto organiche, colore 2,5Y 3/2, HCl=1, presenza di laminazioni millimetriche con frammenti vegetali digeriti; al tetto per 2 cm più ricco di materia organica. Limite inferiore bioturbato, presenza di cristalli sub-millimetrici lucenti.

37,72-37,71 m: Limi torbosi scuri, colore 10YR 2/1, livello scuro che separa due livelli più chiari; presenza di cristalli sub-millimetrici lucenti.

37,71-37,61 m: Limi con argilla, colore 2,5Y 3/1 (più chiari di quelli soprastanti) impermeabili, presenza di cristalli sub-millimetrici lucenti, limite inferiore netto.

37,61-37,44 m: Limi torbosi organici, colore 10YR 3/1, fittamente stratificati, macroresti, presenza di cristalli sub-millimetrici lucenti, limite inferiore irregolare, forse erosivo.

37,44-37,38 m: Torbe e limi torbosi con veli sub-millimetrici di limo grigio, HCl=3; colore 10YR 3/1; presenza di cristalli sub-millimetrici lucenti, limite inferiore netto.

37,38-37,24 m: Limi torbosi-organici, colore 10YR 3/1, fittamente stratificati, molto compressi, presenza di cristalli sub-millimetrici lucenti; limite inferiore irregolare.

37,24-36,87 m: Torbe fittamente stratificate (5 mm di potenza per pacchetti discreti di strati) con macroresti, probabili muschi bruni, colore 10YR 2/1, limite inferiore netto.

36,87-36,75 m: Limi organici-torbosi, fittamente stratificati, ben digeriti sotto 36,81 m e a 36,81 m molto compressi, presenza di cristalli sub-millimetrici lucenti, presenza di macroresti, limite inferiore netto, colore 10YR 2/1.

36,75-36,73 m: Torbe limose, colore 10YR 2/1, limite inferiore irregolare.

36,73-36,59 m: Limo organico con evidente stratificazione molto ben digerito, colore 5Y 2,5/1; HCl=0; presenza di cristalli sub-millimetrici lucenti; rari macroresti millimetrici; limite inferiore irregolare.

36,59-36,49 m: Torbe limose, colore 2,5Y 2/1, fittamente stratificate, con macroresti vegetali, presenza di frammenti millimetrici di muschi bruni. Limite inferiore irregolare, forse bioturbato.

36,49-36,42 m: Da limi organici a limi torbosi stratificati, colore 10YR 2/1, con porzioni 2,5Y 3/3 (forse parti di piante); presenza di cristalli sub-millimetrici lucenti, limite inferiore ondulato.

36,42 m: Livello di 4 mm, colore 2,5Y 4-3/1; limi argillosi organici HCl=1; limite inferiore da ondulato a erosivo.

36,21-36,42 m: Limi torbosi 10YR 2/1; HCl=0; macroresti vegetali (forse presenza di foglioline di muschi bruni, briofite); presenza di cristalli submillimetrici lucenti. Limite inferiore netto.

36,21-36,18 m: Transizione tra limi grigi di colore 2,5Y 4/2 HCl=3 e limi torbosi 10YR 2/1, HCl=0; presenza di macroresti millimetrici verso il fondo.

36,18-35,90 m: Manovra, da 35,90 m fino a 36,05 m limi con argilla come sopra, fino a 36,13 m rielaborazione di limi e limi organici torbosi.

35,90-35,48 m: Limi argillosi di colore 6/N-10Y; alternanze con limi con sabbie da 35,48 m fino a 35,55m ; HCl=4.

35,34-35,33 m: Livello centimetrico di limi con argilla (20%), colore 6/N, HCl=4; limite inferiore ondulato.

35,33-35,18 m: Sabbie limose Φ 250 μm, colore 5Y 5/1, HCl=4; limite inferiore erosivo.

35,18-35,06 m: Alternanze sub-centimetriche di limi grossolani con argilla (25%), colore 5Y 6/1, HCl=4; limite inferiore netto.

35,06-34,12 m: Laminazioni millimetriche e sub-centimetriche di limi grossolani con argilla (20%) e limi grossolani con argilla e sabbia, colore 2,5Y 6/1, HCl=4. Tracce di radici, Φ 2 mm. Livelli più sabbiosi da 35,06 fino 34,26 e a 34,54 m a 34,74 e da 34,81 a 34,84 (sabbie limose, limi sabbiosi fini).

34,12-33,89 m: Limi grossolani con sabbie, colore 5Y 5/1; HCl=4;

33,89-33,53 m: Limi sabbiosi e limi con sabbie in alternanze pluri-centimetriche, colore 5Y 5/1, HCl=4; a 33,59 m livello centimetrico di sabbie limose fini. Limite inferiore graduale.

33,53-33,47 m: Limi grossolani con argilla (20%), colore 5Y 6/1; HCl=3; concrezioni carbonatiche soffici e dure 1-2 mm, 10%; limite inferiore netto.

33,47-33,32 m: Sabbie limose molto fini, colore 5Y 5/1; presenza di concrezioni di carbonato dure e soffici 1-3 mm, 8%. Da sabbie limose a limi sabbiosi.

33,32-33,26 m: Sabbie limose. Φmax 250 μm, colore 2,5Y 5/2-1; HCl=4; limite inferiore netto.

33,26-33,13 m: Limo grossolano con argilla e sabbia (fino al 20%), colore 2,5Y 6/1; HCl=3; presenza di concrezioni soffici e dure di carbonato 2-3 mm 10%; limite inferiore erosivo.

33,13-32,83 m: Limi grossolani con argilla; colore 2,5Y 6/1; HCl=3; presenza di concrezioni soffici di carbonato 2 mm 5%.

32,83-32,69 m: Alternanze sub-centimetriche di limi grossolani sabbiosi e limi con argilla, colore 5Y 5/1; HCl=4; tra 32,76 e 32,78 m sabbie limose fini. Frammenti vegetali rarissimi.

32,69-32,51 m: Laminazione millimetriche di limi grossolani con argilla e limi grossolani sabbiosi, colore 5Y 6-5/1; HCl=4; concrezioni carbonatiche dure 2-4 mm 5%; limite inferiore netto.

32,51-32,33 m: Alternanze sub-centimetriche di limi grossolani sabbiosi e sabbie limose, colore 5Y 5-6/1; HCl=4; presenza di tracce di radici; qualche lamina di limo argilloso 2 mm; limite inferiore netto.

32,33-32,00 m: Limo con argilla (20%), forse presenza di concrezioni soffici di carbonato, colore 2,5Y 6/1, HCl=4. Frammenti di sostanza vegetale al fondo che evidenziano una laminazioni millimetriche. Stratificazione sub-centimetrica poco evidente.

32,00-31,82 m: Limi grossolani con sabbia (20) e argilla (15%); rarissimi frammenti di gasteropode di colore 5Y 6/1, HCl=4.

31,82-31,65 m: Limi grossolani argillosi (20%), colore 5Y 6/1, HCl=4; limite inferiore graduale, concrezioni di carbonato soffici 1mm, 2%.

31,65-31,48 m: Manovra, sedimenti rimaneggiati.

31,48-31,31 m: Limo grossolano con argilla (20%), colore 5Y 5-6/3; HCl=4; probabile presenza di piccole concrezioni.

31,31-31,25 m: Limo grossolano argilloso, colore 5Y 6/1; HCl=3; con presenza di frammenti di gasteropodi continentali e concrezioni carbonatiche 2 mm, 5%. Limite inferiore netto.

31,25-30,97 m: Limo grossolano con argilla (20%), colore 5Y 5-6/3; HCl=4. Limite inferiore ondulato.

30,97-30,71 m: Limi argillosi consolidati di colore 5Y 5/2; concrezioni carbonatiche Φ 4 mm, 5%; probabili screziature scure di colore 5Y 5/1 e talvolta verdine 5Y 6/320%; HCl=4. Tracce di radici rare, limite inferiore graduale.

30,71-30,53 m: Limi argillosi (20%) con livelli sabbiosi a 30,60 e 30,68 m; Φ_{max} 300 μm; concrezioni carbonatiche da 30,62 fino a 7 mm, 15%; bioturbazioni con riempimento più argilloso; al tetto velo di limi organici di colore 2,5Y 3/2, HCl=3-4. Probabile presenza di screziature color 5Y 5/3-4 15%. Limite inferiore erosivo.

30,53-30,40 m: Limi argillosi (20%) con abbondante presenza di concrezioni carbonatiche 2-3 mm fino a 5 mm max, da 10-15%; colore 5Y 5/1, HCl=3-4; limite inferiore graduale. (Orizzonte Bk del suolo).

30,40-30,25 m: Argille limose, colore 5Y 4-5/1; HCl=2; concrezioni carbonatiche, 1-2 mm 5%; frammenti di gasteropode continentali, rari frammenti vegetali; presenze di bioturbazioni in aumento verso il fondo. Limite inferiore irregolare, bioturbato.

30,25-30,08 m: (Suolo sepolto) Argille limose ricche di materia organica dispersa. HCl=1, colore 5Y 4/1. Presenza di bioturbazioni al tetto che diminuiscono in profondità. Limite inferiore graduale, forse concrezioni carbonatiche inferiori 1 mm (2%).

30,08-29,73 m: Alternanze sub-centimetriche di limi con argilla (20%) e limi sabbiosi - sabbie limose fini, HCl=4, ∅ max=200 mm, colore 2,5Y 6/1. Limite inferiore irregolare per bioturbazioni.

29,73-29,53 m: Limi con argilla (20%). Tra 29,69-29,73 m tracce di radici millimetriche con accumulo di carbonati biancastri lungo di esse (sopra esisteva un suolo, forse il livello torboso). Frammenti vegetali da 29,53 fino a 29,70 m.

29,53-29,52 m: Livello di limi argillosi organici, fluitati forse da carotaggio. Colore 10YR 2/1, HCl=2. Limite inferiore irregolare.

29,52-29,39 m: Limi con argilla (20%).

29,39-29,34 m: Colore 2,5Y 6/2-1, HCl=3-4, argille limose con sostanza organica dispersa. Abbondanti frammenti di gasteropode continentale. Limite inferiore graduale. (Un planorbide?).

29,34- 29,28 m: Limi organici-torbosi, colore 10YR 2/1. Limite inferiore bioturbato; fitta stratificazione, frammenti vegetali millimetrici. HCl=0-1.

29,28-28,98 m: HCl=4. Limi con argilla (20%), più argilloso negli ultimi 2-3 cm verso il bottomin cui ci sono anche frammenti di gasteropode continentale e un opercolo. Limite inferiore ondulato, forse erosivo. Colore 6/10Y.

28,98-28,93 m: Limi con argilla (20%) con sostanza organica dispersa, colore 2,5Y 5/1. Livello più organico tra 28,96-28,98 m, nello strato abbondanti frammenti di gasteropode continentale A 28,99 m livello con resti vegetali appiattiti (fusti?).

28,93-28,83 m: Limi con argilla (20%) di colore 5Y 6-5/1, HCl=4.. Frammenti di gasteropode continentale e tracce di radici. Limite inferiore irregolare.

28,83-28,70 m: Assenza di campione (manovra).

28,70-27,81 m: Limite di manovra al fondo. Limi con argilla (20%) di colore 5Y 6-5/1, HCl=4.

27,81-27,71 m: (Carota compressa) Alternanze di limi argillosi con sabbie (20%), limi argillosi e sabbie limose fini, colore 6/10Y, HCl=4, limite inferiore erosivo.

27,71-27,51 m: Limi con argilla (20%), colore 6/10Y. Livello più argilloso a 27,65m.

27,51-27,48 m: Limi argillosi (25%), colore 6/10Y, limite inferiore netto.

27,48-27,29 m: Limi con argilla (20%), colore 6/10Y, limite inferiore netto.

27,29-27,00 m: Limi con argilla (20%) con laminazioni di sabbie limose fini a 27,02 m; 27,12 m; 27,21 e 27,28 m. Colore 2,5Y 6/1, HCl=4; laminazioni centimetriche e sub-centimetriche poco evidenti; rari frammenti vegetali. Limite inferiore graduale.

27,00-26,89 m: Mancante, probabilmente per compressione della carota e manovra.

26,89-26,87 m: Limi argillosi (25%), colore 6-5/10Y, presenza di concrezioni carbonatiche (1-2 mm; 3%).

26,87-26,84 m: Limi argillosi (20%), colore 5Y 6-5/1, HCl=4.

26,84-26,83 m: Livello di limi organici, colore 2,5Y 4/2 con rari frammenti vegetali; HCl=3-4.

26,83-26,44 m: Limi con argilla (25%), colore 5Y 6-5/1, in laminazioni con alcuni livelli di limo grossolano. (tra 26,50-26,55 m). Talvolta livelli più organici; presenza di frammenti di gasteropode continentale. Limite inferiore forse bioturbato. Tra 26,72-26,64 m concrezioni carbonatiche dure (2-3 mm; 2%). HCl=4. La torba e gli strati fino a 26,82 formano probabilmente un suolo.

26,44-26,39 m: Limi organici con argilla, colore 2,5Y 4/2, HCl=2-3. Limite inferiore irregolare, forse bioturbato.

26,39-26,38 m: Limi torbosi scuri, colore 10YR 2/1, ben digeriti, limite inferiore forse bioturbato.

26,38-26,34 m: Limi organici con argilla, colore 2,5Y 4/2, HCl=2-3, limite inferiore ondulato.

26,34-26,26 m: Torbe con limo, colore 10YR 2/2, HCl=0-1; macroresti vegetali, aspetto granulare, abbondante presenza di cristalli che riflettono. Limite inferiore graduale. Evidente stratificazione millimetrica.

26,26-26,16 m: Limi torbosi, colore 2,5Y 3/1 con macroresti di fusti molto appiattiti di piante erbacee. Limite inferire netto, evidente stratificazione millimetrica. HCl=0.

26,16-26,00 m: Limi argillosi, colore 2,5Y 6-5/1, HCl=4, limite inferiore ondulato.

26,00-25,95 m: Mancante.

25,95-25,66 m: Sabbie fini con limo in alternanza con sabbie limose, presenza di frammenti vegetali, colore 2,5Y 5/1, HCl=4.

25,66-25,23 m: Sabbie medie (300 mm); manovra a 25,50. Limite inferiore non noto.

25,23-24,78 m: Sabbie fini con limo (fino a 20%), con rare alternanze di limi sabbiosi, HCl=4, colore 5Y 5-6/1.

24,78-24,67 m: Alternanze sub-centimetriche di limi grossolani con argilla e sabbia (fino a 20%), colore 5Y 6/1, HCl=4. Limite inferiore ondulato.

24,67-24,53 m: Da sabbie fini con limo (poligeniche, 150 mm) ad alternanze di queste con limo argilloso biancastro. HCl=4. Limite inferiore ondulato.

24,53-24,50 m: Limo con argilla (20%), colore 2,5Y 6/1, HCl=4, limite inferiore forse erosivo.

24,50-24,42 m: Sabbie limose in laminazioni, HCl=4, colore 2,5Y 5/1. Limite inferiore netto. Trecce di radici.

24,42-24,40 m: Limi grossolani con argilla. Al fondo due lamine (3mm) di limi con argilla, colore 6/10Y, HCl=4.

24,40-24,36 m:Limi argillosi (25%), colore 6N, HCl=3-4.

24,36-24,06 m: Manovra, probabilmente alternanze di sabbie limose e limi sabbiosi.

24,06-24,00 m: Limi torbosi, fittamente stratificati, addensati, molto simili al livello rimaneggiato precedente; queste hanno problema di manovra e sono posizionabili tra 22 e 24 metri.

24,00-23,86 m: Alternanze sub-centimetriche di sabbie con limo e sabbie limose fini, colore 2,5Y 6-5/1, HCl=4; i livelli più fini sono più chiari. Presenza di manovra. Forse continua fino a 24,30 m.

23,86-23,84 m: Limo grossolano con sabbia (20%) e argilla (15%), colore 2,5 Y 6-7/1, HCl=4, limite inferiore erosivo.

23,84-23,60 m: Alternanze di sabbie con limo, limo sabbioso e limo con sabbia, colore 2,5Y 5/1, HCl=4, tracce di radici, limite inferiore netto.

23,60-23,52 m: Limi grossolani con argilla (15%) e sabbia (15%). Limite inferiore netto, colore 2,5Y 6/1, HCl=3-4, laminazioni sub-centimetriche, livello sabbioso a23,57m.

23,52-23,40 m: Sabbie medio-fini (circa 300mm), HCl=4, colore 2,5Y 5/2-3. Limite inferiore netto. Clasti poligenici, probabilmente Tagliamento. Forse alcuni intraclasti di limo.

23,40-23,03 m: Alternanze centimetriche di limi sabbiosi e sabbie limose fini (∅ max=200mm), colore 2,5Y 5/1, con livelli (3-4 mm) limoso argillosi di colore 2,5Y 7/1 (a 23,14-23,17-23,20-23,34 m), frammenti vegetali millimetrici, tracce di radici. Limite inferiore irregolare, ondulato. HCl=4.

23,03-22,91 m: Alternanze di limi con argilla (15%) e sabbia (fino al 20%), colore 5Y 6/1, HCl=3-4, vegetali decomposti. A 22,97 m livello centimetrico di sabbie fini, inferiori a 150 mm.

22,91-22,90 m: Transizione ai limi inferiori, colore 2,5Y 3/2, HCl=1, limite inferiore graduale, frammenti vegetali.

22,90-22,86 m: Limi torbosi, fittamente stratificati, consolidati e compressi, colore 2,5Y 3/1, limite inferiore graduale.

22,86-22,81 m: Limi argillosi in laminazioni con sostanza organica dispersa, colore primario 5Y 4/1, secondario 5Y 6/1. Limite inferiore ondulato, HCl=3.

22,80-22,79 m: Limi argillosi di colore 5Y 6/1, HCl=4, limite inferiore irregolare da bioturbazione.

22,79-22,76 m: Limi argillosi con sostanza organica dispersa, frammenti vegetali decomposti, presenza di bioturbazioni. Limite inferiore irregolare, HCl=3.

22,76-22,44 m: Alternanze centimetriche di limi, limi con argilla e limi argillosi. Colore da 5Y 6/1 a 5Y 5/1, HCl=4. Tracce di sostanza organica decomposta e frammenti di radice (∅ 2-3 mm). A 22,71 e 22,73 livelli (3 mm) con sostanza organica, probabilmente bioturbati. Limite inferiore irregolare per bioturbazione.

22,44-22,31 m: Alternanze centimetriche di limi con sabbie (20%) e sabbie limose fini, colore primario 5Y 5/1, secondario 5Y 6/1. Limite inferiore ondulato.

22,31-22,26 m: Limi con argilla (20%). Colore 5Y 5/1. Presenza di frammenti vegetali decomposti, HCl=4. Limite inferiore erosivo.

22,26-22,00 m: Testa di manovra fino a 22,26 m. Alla testa 3 cm di limi torbosi ben stratificati di colorazione 10YR 2/1, presenza di macroresti di briofite (muschi bruni). Da 22,15 a 22,26 m rimaneggiato da manovra, limi sabbiosi e sabbie limose fini, con tracce di frammenti vegetali e frammenti decomposti di colore 5Y 4-5/1, HCl=4. Limite inferiore non noto.

22,00-21,68 m: Sabbie con limo passanti a sabbie fini-medie ∅ max 300μm con laminazione centimetrica marcata da limi sabbiosi (2-3 mm). Limite inferiore.

21,68-21,46 m: Limi con argilla (20%) in laminazione sub-centimetriche. Colore 6/10Y, concrezione carbonatica 5 mm a 21,53 m. Limite inferiore graduale.

21,46-21,35 m: Alternanze di limi con argille e sabbie limose (1-2 cm). ∅<150μm, HCl 3-4, colore 6/10Y.Limite inferiore netto.

21,35-21,28 m: Limi con argille in laminazioni sub-centrimetriche . Colore 6/10Y. Limite inferiore netto.

21,28-21,18 m: Argille limose in laminazioni da centimetriche a sub-centimetriche, HCl=4 e colore 6/10Y. Presenza di frammenti di molluschi continentali, limite inferiore netto.

21,18-20,94 m: Abbastanza disturbato da manovra, probabilmente in continuità con lo strato sottostante.

20,94-20,73 m: Limi con argilla (18%). Colore 2,5Y 6/1 HCl=4, presenza di frammenti di gasteropodi, screziature scure dovute a stagnazione di acqua 3/10 B blu scuro, limite inferiore graduale.

20,73-20,64 m: Limi argillosi ricchi di frammenti vegetali e sostanza organica di colore 2,5Y 5/2 HCl=3, presenza di frammenti di gasteropodi.

20,64-20,57 m: Torbe con macroresti (muschi bruni).

20,57-20,55 m: Livello di limi argillosi di colore 2,5Y 6-7/1 HCl=3-4. Limite inferiore ondulato, presenza di frammenti di gasteropodi.

20,55-20,50 m: Da limi torbosi a torbe con abbondanti macroresti (muschi bruni). Limite inferiore graduale, colore 5Y 3/1.

20,50-20,48 m: Limi ricchi in sostanza organica di colore 2,5Y 3/2 HCl=3.Limite inferiore forse erosivo. Trattasi di intercalazione tra livelli organici.

20,48-20,38 m: Limi torbosi di colore 5Y 3/2 HCl=1 livello torboso 3 mm a 20,44 cm con macroresti, probabilmente fusti di *Ciperaceae*. Limite inferiore graduale.

20,38-20,29 m: Da limo argilloso a limo con argilla ricco in frammenti vegetali millimetrici disposti in livelli, colore 5Y 6/1-2, effervescenza 3. Limite inferiore probabilmente erosivo, un gasteropode continentale intero al fondo.

20,29-20,07 m: Come sopra, ma con livelli 2-4 mm di limi argillosi organici, colore 2,5y 4/2 HCl=4. Limite inferiore netto. Comuni frammenti vegetali millimetrici, talvolta digeriti.

20,07-19,80 m: Da limo argilloso a limo con argilla ricco in frammenti vegetali millimetrici disposti in livelli, colore 5Y 6/1-2, effervescenza 3. Limite inferiore quasi assente, graduale.

19,80-19,70 m: Limi argillosi e limi con argille molto ricchi in frammenti vegetai pluri-millimetrici (muschi bruni). Aspetto torboso, effervescenza 3, colore 5Y 5-6/2, presenza di frammenti di gasteropodi continentali.

19,70-19,45 m: Limi con argille alternanti a limi argillosi con sostanza organica decomposta e frammenti vegetali millimetrici talvolta in laminazioni. Tra 19,56-19,54 m livello ricco di foglioline di muschi bruni associate con gasteropodi continentali turricolati 2-3 mm; colore 5Y 4/2 effervescenza 4. Limite inferiore graduale.

19,45-19,39 m: Limi argillosi (25%) limite inferiore forse disturbato.

19,39-19,19 m: Campione disturbato da manovra, limi grossolani e limi argillosi alternati.

19,19-19,12 m: Limi grossolani con argilla (15%) e sabbia (20%), 6/10Y effervescenza 4. Limite inferiore non noto per manovra.

19,12-19,08 m: Limi sabbiosi di colore 6/10Y effervescenza 4, limite inferiore netto.

19,01-19,00 m: Alternanze millimetriche di limi con argilla (20%), limi grossolani con sabbia (15%) di colore 6/10Y ed effervescenza 4. Limite inferiore netto. A 19,05 m 3 concrezioni carbonatiche dure 10 % 8 mm.

19,01-18,82 m: Limi con argille (20%), di colore 6/10Y effervescenza 3. Concrezioni carbonatiche dure 6 mm 5%.

18,82-18,76 m: Limi con argilla (15%) più scuri degli strati superiori forse per presenza di sostanza organica dispersa, colore 5/10Y, effervescenza 3. Al letto frammenti vegetali millimetrici e frammenti di molluschi continentali.Limite inferiore graduale.

18,76-18,72 m: Limi con argilla (10%) di colore 6/10Y, limite inferiore da ondulato a erosivo. Concrezioni carbonatiche dura 6 mm 5%.

18,72-18,41 m: Alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose di colore 5/10Y effervescenza 3-4. Abbondante presenza di resti di radici con $\varnothing_{medio}$ 1-2 mm; tracce di frammenti organici decomposti. Limite inferiore ondulato, forse erosivo.

18,41-18,36 m: Limi grossolani con argilla 20%, al letto concrezioni carbonatiche dure 5 mm 5%.Limite inferiore netto.

18,22-18,16 m: Limo con argilla, effervescenza 4 e colore 6/10Y. Presenza di concrezioni carbonatiche molto grandi ($\varnothing_{max}$ 2 cm) 20%. Limite inferiore graduale.

18,16-18,09 m: Limo grossolano passante a limo sabbioso, colore 6/10Y effervescenza 3. Limite inferiore netto.

18,09-17,76 m: Alternanze di limi argillosi e argille limose, colore 6/10Y effervescenza 3. Livello ricco in frammenti vegetali a 17,91 m (2 mm). Limite inferiore ondulato. Laminazioni evidenti tra 18,0-18,09 m.

17,76-17,32 m: Alternanze da centimetriche a millimetriche di limi grossolani con argilla e argilla limosa, colore 6/10Y. Frammenti vegetali decomposti. A 17,44 m gasteropode continentale (non campionabile). Da 17,32 fino a 17,53 m più argilloso e da 17,67-17,71 m.

17,32-17,10 m: Alternanze di limi argillosi e limi con argilla di colore 6/10Y, effervescenza 3. Presenza di frammenti vegetali decomposti, limite inferiore graduale.

17,10-16,78 m: Alternanze millimetriche e sub-centimetriche di limi con argilla e sabbia e limi argillosi, di colore 5Y 6/1, effervescenza 3. Tra 16,84-16,86 m livello di argille limose con frammenti vegetali millimetrici decomposti.

16,67-16,58 m: Limi con argilla (15%), colore 5Y 6/1 effervescenza 3. Presenza di frammenti vegetali indecomposti. Limite inferiore netto.

16,58-16,38 m: Argille limose passanti a limi argillosi di colore 5Y 6/1 effervescenza 3. Limite inferiore graduale.

16,38-16,33 m: Limi grossolani di colore 5Y 5/1 effervescenza 4 violenta. Presenza di frammenti vegetali decomposti.

16,33-16,27 m: Alternanze di argille limose e limi argillosi di colore 5Y 6/1 effervescenza 3. Presenza di frammenti di molluschi continentali; limite inferiore ondulato.

16,27-16,18 m: Argille limose di colore 5Y 6/1 con laminazioni di materia organica fino a 4 mm di spessore (5Y 5/1-2). Presenza di frammenti vegetali decomposti. Tra 16,25-16,27 m limi fortemente organici color 5Y 3/2 effervescenza 3 con presenza di resti vegetali indecomposti e rari frammenti millimetrici di gasteropode e molluschi. Limite inferiore ondulato.

16,18-16,05 m: Limi grossolani in laminazioni millimetriche di colore 5Y 6-7/1 ed effervescenza 4 violenta. Limite inferiore netto forse rimaneggiato.

16,05-16,00 m: Manca perché compresso.

16,00-15,90 m: Limi e limi con sabbia (10%) in alternanze sub-centimetriche di colore 5Y 5/1, effervescenza 4 violenta; probabilmente un po' rimaneggiato.

15,90-15,55 m: Limi con sabbie e sabbie limose fortemente rimaneggiate da carotaggio, colore 5Y 6-5/1 HCl=3-4.

15,55-15,49 m: Limi con argilla (15%) laminati e ricchi di sostanza organica tra 15,52-15,53 m, colore 5Y 5/2 ed effervescenza 3. a 15,53-15,54 m livello di argille limose color 5Y6-7/1 m. Limite inferiore non noto per manovra.

15,49-15,42 m: Limi argillosi ricchi di sostanza organica dispersa di colore 5Y 5/1, effervescenza 3, limite inferiore ondulato.

15,42-15,35 m: Limi argillosi ricchi di sostanza organica dispersa color 5Y 5/1, effervescenza 3. Presenza di vuoti disposti sub-orizzontalmente ma con apofisi anche verticali sia verso l'alto che verso il basso riempiti con il materiale dello strato soprastante. Possibile orizzonte bioturbato. Limite inferiore graduale.

15,35-15,30 m: Argille limose di colore 5Y 7-6/1 effervescenza 3. Limite inferiore con tasche da bioturbazione (??).

15,30-15,21 m: Alternanze di argille limose e limi grossolani con sabbie molto fini (20%) di colore 5Y 7-6/1 effervescenza 3. Limite inferiore graduale.

15,21-15,16 m: Alternanze millimetriche di argille limose e limi con sabbia effervescenza 3. limite inferiore erosivo.

15,16-14,83 m: Alternanze di limi con argilla di colore 5Y 7-6/1 effervescenza 4. Limite inferiore netto.

14,83-13,78 m: Sabbie medie (300 μm) sciolte gialle color 2,5Y 6/3 effervescenza 4. Forse presenza di resti vegetali. Sotto 14,0 m sono grigio biancastre color 2,5Y 7/1 effervescenza 4. Da 14,40 presenza di intraclasti di limo consolidato molto resistenti biancastri di colore 2,5Y 7/1 effervescenza 3. Durante le operazioni di carotaggio questo strato era molto resistente e somigliava a ghiaie. Probabilmente i clasti di fango simulavano il rumore dei ciottoli nel carotiere (??). Limite inferiore probabilmente erosivo. Al fondo frammenti vegetali anche centimetrici.

13,78-13,67 m: Manovra, campione rielaborato.

13,67-13,55 m: Limi color 5Y 6/2-1 effervescenza 4, probabilmente disturbato da manovra.

13,55-13,51 m: Limi organici di colore 5Y 3/2 effervescenza 3, forse bioturbato.

13,51-13,48 m: Torbe limose passanti a limi torbosi di colore 2,5Y 3/1 con evidente stratificazione e presenza di foglioline di briofite. Limite inferiore graduale.

13,48-13,41 m: Limi argillosi colore 5Y 4/2 effervescenza 1-2. Al letto livello torboso 1 cm, presenza di foglioline di briofite (muschi bruni). Limite inferiore erosivo.

13,41-13,32 m: Limi argillosi che divengono limi argillosi organici al fondo; colore da 5Y 6/1-2 a 5Y 4/2 ed effervescenza 3. Abbondante presenza di resti vegetali anche pluri-millimetrici che demarcano stratificazione. Limite inferiore ondulato, forse disturbato da carotaggio.

13,32-13,28 m: Limi fortemente organici quasi limi torbosi di colore 5Y 3/2, HCl=0. Limite inferiore graduale. Presenza di resti vegetali, evidente stratificazione.

13,28-12,93 m: Argille limose in laminazioni con laminazioni millimetriche di sostanza organica. Più frequenti da 13,15-13,10 m. Colore 6/10Y passante a 5Y 5/1 sopra a 13,20; effervescenza 3. Limite inferiore ondulato forse erosivo.

12,93-12,61 : Argille limose in strati di 2-4 cm alternati a livelli pluri-millimetrici di limi con argilla, colore 5Y 6/1. A 12,87 m livello lievemente organico. Limite inferiore graduale.

12,61-12,39 m: Alternanze millimetriche di argille limose e limi con argilla, colore 5Y 6/1 ed effervescenza 4. Tra 12,50-12,54 m laminazioni di sostanza organica decomposta.

12,39-12,34 m: Argille con limo, colore 5Y 6/1 ed effervescenza 3-4. Limite inferiore netto.

12,34-12,19 m: Argille limose con alternanze sub-centimetriche di limo grossolano di colore 5Y 6/1 e effervescenza 3-4. Limite inferiore graduale.

12.19-11,49 m: Alternanze di argille limose e limi argillosi, colore 2,5Y 6-5/1 effervescenza 4. Presenza di radici decomposte, limite inferiore graduale.

11,49-11,46 m: Argille limose con sostanza organica diffusa, colore 5/5GY effervescenza 3, frammenti vegetali millimetrici decomposti.

11,46-11,17 m: Argille limose (30-40%) in laminazione con frammenti vegetali millimetrici decomposti tra 11,34-11,32 m. Rari resti vegetali decomposti effervescenza 3. Limite inferiore graduale.

11,17-11,12 m: Argille limose di colore 6/10Y,effervescenza 3. Nei primi 2 cm al top laminazioni con sostanza organica decomposta (frammenti vegetali). Limite inferiore non noto per manovra, ma carota probabilmente in continuità con lo strato inferiore.

11,12-11,05 m: Limi organici nei primi 2 cm al top passanti a limi torbosi di colore 2,5Y 3/2 passanti al fondo a colore 2,5Y 3/1, effervescenza 0. Limite inferiore ondulato.

11,05-10,60 m: Limi argillosi in alternanze con argille limose (primi 15 cm al top), passanti ad argille limose, colore 6/10Y effervescenza 3-4. Presenza di tracce di frammenti vegetali. Limite inferiore erosivo con probabili bioturbazioni e frammenti torbosi e limi organici inglobati.

10,60-10,52 m: Alternanze millimetriche di limi argillosi e limi grossolani, colore 5Y 7-6/1, effervescenza 4. Limite inferiore netto.

10,52-10,43 m: Alternanze di limi grossolani e limi argillosi, colore 5Y 6/1 effervescenza 3. Presenza talvolta abbondante di frammenti vegetali e tracce di radici decomposte (5Y 4/1). Limite inferiore ondulato.

10,43-10,26 m: Manovra; da 10,43 a 10,36 m probabilmente poco disturbato, sabbie fini con limo (10%), colore 5Y 5/1, effervescenza 4. Limite inferiore graduale.

10,26-9,92 m: Argille limose di colore 5Y 6/1, effervescenza 3. Al fondo manovra limite inferiore non noto.

9,92-9,89 m: Sabbie fini (<200 μm), colore 5Y 5/1, effervescenza 4. Limite inferiore ondulato.

9,89-9,85 m: Alternanze di limi con sabbia e argilla e limi argillosi, colore 5Y 6/1, effervescenza 4. Presenza di frammenti vegetali millimetrici decomposti, abbondanti a 9,87 m. Limite inferiore erosivo.

9,85-9,78 m: Argille limose (>40%) di colore 5Y 6/1, effervescenza 4. Presenza comune di frammenti vegetali decomposti e radici di spessore 2 mm.

9,78-9,62 m: Alternanze sub-centimetriche di argille limose e limi con argilla (>40%), colore 5Y 6/1 effervescenza 4. Limite inferiore graduale.

9,62-9,56 m: Argille e argille limose di colore 5Y 6/1 effervescenza 4. Tracce di radici e frammenti vegetali millimetrici decomposti. Limite inferiore graduale.

9,56-9,28 m: Limi laminati, colore 5Y 6/1 effervescenza 4. Limite inferiore graduale.

9,28-9,18 m: Alternanze millimetriche di limi con argilla e limi argillosi, colore 5Y 6/1, effervescenza 4. Rare tracce di radici e frammenti vegetali millimetrici decomposti. Limite inferiore graduale.

9,18-8,93 m: Alternanze di limi con sabbia (15%) e argilla (20%) e limi argillosi, colore 5Y 6/1, effervescenza 4. Limite inferiore ondulato forse per manovra.

8,93-8,60 m: Alternanze millimetriche di argilla limosa e limi argillosi molto coesivi, colore 2,5Y 7-6/1, effervescenza 3-2. Da 8,70 m presenza di lamine millimetriche scure color 2,5Y 5/1, talvolta anche più marroncine, più abbondanti tra 8,86-8,83 m. Tra 8,99-8,90 m testa di manovra e probabile rimaneggiamento.

8,60-8,46 m: Alternanze millimetriche di limi argillosi e limi, color 5Y 7-6/1, effervescenza 3-2. Limite inferiore graduale.

8,46-8,00 m: Alternanze millimetriche di limi argillosi e limi con argilla, colore 5Y 7-6/1, effervescenza 3-4. Tracce di radici. A 8,33 m livello millimetrico di limo sabbioso. A 8,20 m concrezioni carbonatiche dure <1 mm 3%. Limite inferiore graduale.

8,00-7,90 m: Alternanze sub-centimetriche e millimetriche di limi argillosi (30%) e limi con sabbia (<30%), colore 5Y 6/1, effervescenza 3-4. Tracce di radici al tetto di spessore millimetrico.

7,90-7,78 m: Alternanze sub-centimetriche di limi e limi con sabbie di colore 5Y 6/2 effervescenza 3-2. Rari frammenti vegetali millimetrici. Limite inferiore netto.

7,78-7,76 m: Sabbie medie con limo 10%, colore 5Y 5/1; limite inferiore erosivo.

7,76-7,61 m: Alternanze sub-centimetriche di limi argillosi e limi con argilla e sabbia, colore 5Y 7/1 e 5Y 6/1, effervescenza 4. Tracce di radici talvolta ben conservate; limite inferiore erosivo.

7,61-7,58 m: Limi sabbiosi, limite inferiore erosivo.

7,58-7,40 m: Alternanze di limi con sabbia colori 5Y 7/1 e 5Y 6/1, effervescenza 3-4.

7,40-7,15 m: Sabbie medio fini (Φ_{medio} 300 μm) in livelli 2-3 cm alternati a lamine di limo con sabbia e limo con argilla. Effervescenza 3-4, tracce di radici decomposte, limite inferiore erosivo.

7,15-7,05 m: Alternanze millimetriche di limi argillosi e limi con sabbie con colore 5Y 6-5/1. Tracce di radici decomposte, effervescenza 3-4. Limite inferiore netto.

7,05-6,85 m: Alternanze millimetriche di limi argillosi e limi con sabbie, colore 2,5Y 6/1 ed effervescenza 4. Presenza di rari frammenti vegetali soprattutto al tetto.

6,85-5,88 m: Da sabbie medio-fini nei primi 5 cm del top a sabbie molto grossolane con ciottolini 2-3 mm. Presenza di livelli sabbioso-limosi a 6,10-6,05 m e 6,40-6,35 m. Tra 6,14-6,06 m limi grigi laminati, effervescenza 3-4 e colore 7-6/10Y, rimaneggiato per manovra. Tra 6,38-6,15 sabbie grossolane con ghiaie clasti fino a 3 mm; litologie poligeniche con clasti anche rossi e verdi, quarzo (probabilmente appartenenti al bacino del Tagliamento), clasti leggermente spigolosi; presenza di limo (20%). Abbondanti frammenti vegetali e legnosi fluitati, probabilmente disposti in laminazioni. Limite inferiore graduale. Tra 6,56-6,38 m sabbie con limo con Φ_{medio} 300-400 μm, bianco grigiastro con livello di radici tra 6,46-6,41 m e probabili laminazioni. A 6,56 m sabbie medio grossolane in

laminazioni centimetriche rare intercalazioni di sabbie con limo. Limite inferiore netto, forse erosivo, presenza di screziature color 5Y 6/4, presenza di frammenti vegetali e legnosi fluitati talora abbondanti.

5,88-5,82 m: Limo con sabbia (15%), colore 2,5Y 6/3, screziature di colore 2,5Y 6/8 5% 1 mm. Tracce di radici, limite inferiore erosivo.

5,82-5,51 m: Sabbie limose e sabbie fini (Φ_{medio} 200-300 μm) in livelli di 3-5 cm con laminazioni di limo e argilla, colore 2,5Y 6/2-3, effervescenza 4. Screziature 2,5Y 6/8 1 mm 10% al fondo. A 5,75 m nelle sabbie presenza di frammenti vegetali fluitati millimetrici. Limite inferiore ondulato, forse erosivo.

5,51-5,16 m: Alternanze centimetriche di limi argillosi e limi sabbiosi; livelli millimetrici di sabbie fini limose a 5,33, 5,38, 5,45 m; colore 2,5Y 6/2 e effervescenza 4. Screziature di colore 2,5Y 5/6 diffuse 2-3 mm fino al 50%. Livelli con concrezioni carbonatiche dure 1mm 5% a 5,16, 5,22, 5,29, 5,41, 5,49 m. Limite inferiore ondulato.

5,16-5,04 m: Limi argillosi (20%) con livelli sub-centimetrici di sabbie fini a 5,14 e 5,07 m, colore 2,5Y 6-5/4, effervescenza 4-3. Lo strato è completamente screziato color 5Y 6/8, 1-2 mm. Tracce di radici tipo *crotovina*. Limite inferiore graduale.

5,04-4,93 m: Limi argillosi di colore 2,5Y 6/4, effervescenza 4. Screziature color 5Y 6/8 40% 1-2 mm. Presenza di concrezioni dure 1 mm 2%.

4,93-4,75 m: Alternanze di limi con argilla (15%) e limi con sabbia (fino al 30%), colore 2,5Y 6/1 effervescenza 4. Screziature di colore 2,5Y 6-5/640% 2 mm. Concrezioni carbonatiche dure 1-2 mm 3% ; probabile presenza di concrezioni soffici.

4,75-4,47 m: Limo argilloso (25%), colore 5Y 7/2, effervescenza 3; screziature di colore 2,5Y 6/6 20% 2 mm, limite inferiore graduale. Tra 4.75-4,65 m disturbo per manovra con presenza di materiale archeologico proveniente dagli strati soprastanti incoerenti (sia reperti romani che protostorici). Concrezioni carbonatiche dure, 6 mm Φ_{max} 1,5 cm al tetto 20% al fondo 5 %, con concentrazioni legate a laminazioni di limo sabbioso.

4,47-4,36 m: Limo con argilla (20%), colore 7-6/10Y, effervescenza 3-4. Limite inferiore graduale. Presenza di concrezioni carbonatiche dure 1 cm, Φ_{max} 1,5 cm 20% soprattutto al fondo.

4,36-4,23 m: Limi con argilla (15%) e sabbia, colore 5Y 4/1, effervescenza 3-4. Limite inferiore netto, al fondo ricco di sostanza organica dispersa e presenza al fondo di frammento di legno carbonizzato (6x1 cm). Frammenti di ossa, legno, piccoli ciottoli con Φ_{medio}< 1 cm. Presenza di concrezioni carbonatiche rimaneggiate fino a 4,30 m. Da 4,30 concrezioni carbonatiche in situ (15%).

4,23-4,19 m: Limi con sabbia, colore 5Y 5/3, effervescenza 3-4. Limite inferiore ondulato. Presenza di noccioli di oliva. A 4,21 m frammento di ceramica protostorica. Presenza di carboni, legno decomposto, ossa e ciottolini; concrezioni carbonatiche.

4,19-3,76 m: Limi con argilla (15%) e sabbia (15%), colore 2,5Y 4-3/1 effervescenza 3-4. Presenza di ciottoli, carboni e frammenti di vasi protostorici. Lo strato è addensato. Presenza di legni. A 4,00 m grosso blocco calcinato, probabilmente di origine antropica. A 4,10 m cittolone calcinato con Φ_{medio} 4 cm, al fondo frammento ligneo ben conservato (campionato). Presenza di frammenti ossei, lignei e ciottolini abbondanti. Limite inferiore erosivo. A 4,13 nocciolo di oliva (?) e frammento di costola (Umana??). Al limite forse accumulo di fosfati (colore della matrice 5Y 5/3). Accumulo di semi di oliva, 3 esemplari, a 4,13 m.

3,76-3,49 m: Limi con sabbia e argilla di colore 5Y 6-5/1 e effervescenza 4, fortemente consolidati. Si fratturano in poliedri di 1 cm di lato. Limite inferiore netto. Assenza di reperti archeologici.

3,49-3,38 m: Limi con argilla e sabbia con sostanza organica dispersa, colore 2,5Y 5/1 effervescenza 4. Con presenza di ghiaie con Φ_{max} 4 cm, soprattutto al tetto, presenza di frammenti di laterizi. Limite inferire graduale.

3,38-3,15 m: Limi sabbiosi (sabbie grosse) colore 2,5Y 5/2 effervescenza 4. Limite inferiore erosivo. Abbondante presenza di frammenti di laterizi e ciottoli.

3,15-3,08 m: Limi con argilla e sabbia moderatamente consolidati, colore 2,5Y 4/2-3 effervescenza 4, limite inferiore erosivo.

3,08-2,15 m: Limi con sabbia grossolana di colore 2,5Y 5/2-3 effervescenza 4. Presenza di frammenti archeologici (laterizi, vasi, denti animali), carboni sub-centimetrici, incluso di limo sabbioso color 10YR 7/3 a 2,60 m. Tra le ceramiche si riconoscono impasti di tipo romano e probabilmente un frammento protostorico al fondo. Strato scarsamente coerente probabilmente riporto. Al fondo accumulo di frammenti di laterizi 2-3 cm.

2,15-1,50 m: Limi argillosi probabilmente ricchi di sostanza organica color 2,5Y 4/2-3 effervescenza 3-4. Abbondantissimi frammenti di vasi di epoca romana, laterizi, muratura romana, carboni spigolosi sub-centimetrici. Probabile riporto, forse d'epoca antica. Limite inferiore graduale.

1,50-1,14 m: Limo con argilla con colore primario 2,5Y 4/3-4; secondario 2,5Y 6-5/4, effervescenza 4. Abbondanti frammenti di materiale archeologico e ciottoli, carboni. Probabile riporto. Limite inferiore erosivo.

1,14-0,00 m: Materiale sciolto, probabilmente di riporto, formato da laterizi e frammenti di laterizi e materiale archeologico.

7.4 Descrizione sedimentologica, sintesi stratigrafica (CNC4)

51,00-45,20 m

Alternanze di limi sabbiosi e sabbie fini limose in strati da pluri-centimetrici a decimetrici. Dal fondo a 49,10 m sabbie con presenza di laminazioni incrociate dovute a strutture trattive tipo *ripple* e poi fino a 48,40 m limi sabbiosi debolmente organici fortemente bioturbati.

In tutto l'intervallo vi sono esemplari di gusci di molluschi lagunari, più abbondanti sopra 48,00 m. Probabile sequenza di canale lagunare o canale deltizio distributore in ambiente lagunare. Al tetto, tra 45,35-45,20 m, limi argillosi organici con abbondanti tracce di bioturbazioni e, in profondità fino a 46,40 m, concrezioni carbonatiche e tracce di radici; corrisponde a un suolo debolmente sviluppato che indica un periodo di parziale emersione della zona.

45,20-43,60 m

Dalla base a 44,00 m limi argillosi in strati centimetrici con presenza di concrezioni carbonatiche millimetriche e tracce di radici; da 44,00 a 43,60 m limi torbosi con abbondanti macroresti vegetali millimetrici e rari frammenti di gasteropodi di acque dolci; corrisponde all'orizzonte superficiale di un probabile histosuolo correlato ad un ambiente di barena.

Nei campioni micropaleontologici osservati nell'intervallo 50,0-39,0 m vi sono comuni foraminiferi costituiti da *A. beccarii* e *A. beccarii tepida* dominanti, *H. germanica* rara, *A. perlucida* e *A. veneta* rare. Tra i residui dei campioni sono stati identificati rari frustoli vegetali.

L'intervallo più basso è senz'altro riconducibile ad un ambiente paralico (laguna iposalina) o di prodelta di acque molto basse, a differenza di quello superiore che, privo di foraminiferi e tecamebe, potrebbe rappresentare ancora un ambiente paralico, ma anche continentale.

43,60-39,00 m

Limi debolmente sabbiosi con alcuni livelli sabbiosi che a partire da 42,25 m divengono limi argillosi di piana lagunare con abbondanti frammenti vegetali millimetrici e rari resti di gusci di molluschi lagunari. Da 40,30 m fino al tetto limi sabbiosi che passano a limi debolmente sabbiosi con abbondanti bioclasti di faune lagunari, talvolta con valve ancora in connessione.

Nel complesso dal fondo del carotaggio fino a 39,00 m si tratta di depositi lagunari, più sabbiosi alla base, con presenza di un suolo poco sviluppato a 45,20 m e un histosuolo relativamente evoluto con orizzonte organico a 44,00-43,60 m.

Fra 39,00 e 38,00 m ci sono dei residui costituiti da abbondanti frustoli vegetali e a sabbia fine; si evidenza l'assenza di foraminiferi.

Ci sono due intervalli rispettivamente a 44,00 e 41,00 m in cui sono presenti specie di acqua dolce.
Sulla base dei dati micropaleontologici e malacologici non si può escludere che questi episodi di emersione e successivo annegamento siano legati a variazioni dell'altezza eustatica relativa a cambiamenti della paleogeografia della zona.
L'intervallo potrebbe essere ascrivibile alla parte finale della trasgressione tirreniana, quindi al substage MIS 5.5, ma potrebbe anche corrispondere alle trasgressioni verificatesi nei substage del MIS 5 successivi al 5.5, ossia il 5.3 o il 5.1.

39,00-36,20 m

Limi torboso-organici e torbe con rari livelli meno organici centimetrici e pluri-centimetrici. Presenza di macroresti vegetali. Si tratta di un intervallo caratterizzato dalla quasi totale assenza di sedimentazione minerogenica; le analisi paleontologiche e palinologiche indicano un ambiente alluvionale di tipo palustre che perdurò per un considerevole periodo di tempo. Le datazioni al carbonio effettuate su campioni a 36,18 m, 37,58 m e 38,38 m hanno dato un risultato rispettivamente di 30.885±825, 36,330±825, 34.225±150 anni ^{14}C BP. La calibrazione della datazione più recente fornisce un'età di circa 36.000 anni, mentre per quelle più vecchie la calibrazione è poco affidabile. Nel complesso questi depositi ricadono nel MIS 3 e, apparentemente, nella carota non vi sono sedimenti che possono risalire al MIS 4, stage probabilmente quasi assente anche in altri sondaggi sia nell'area friulana che veneziana.

36,20-30,05 m

Alternanze centimetriche di limi e limi argillosi che da 35,50 m passano a limi sabbiosi e sabbie e limi con sabbie fini. Assenza di malacofaune macroscopiche e presenza di concrezioni carbonatiche dure e soffici sopra 33,50 m. Al tetto suolo sepolto ben sviluppato con presenza di orizzonti A/B, Bk Bwk e Ck.
Depositi di natura alluvionale in facies di piana d'esondazione e *crevasse splay* sedimentatesi durante la fase finale del MIS 3.

30,05-6,80 m

Alternanze centimetriche di limi argillosi, limi e intervalli secondari con limi sabbiosi e sabbie. Presenza di probabile suolo sepolto con accumulo di limi torbosi al tetto e concrezioni carbonatiche nella porzione inferiore dell'intervallo. Orizzonti organici di una certa importanza a 29,40 m, 26,20-26,80 m, 11,05 m, interpretabili come torbiere di ambiente steppico legate alla stagnazione in superficie della falda freatica. Corpi sabbiosi di potenza più significativa a 25,70-24,00 m e 14,80-13,70 m con presenza in quest'ultimo di intraclasti limosi consolidati. Le datazioni al radiocarbonio effettuate su campioni a 29,31 m e a 11,07 m hanno rispettivamente fornito il risultato di 24.275±375 e 18.055±175 anni ^{14}C BP; che calibrate forniscono età rispettivamente di 29.075±827 cal BP e 21.657±533 cal BP.

Le caratteristiche sedimentologiche e le analisi paleontologiche, polliniche e geocronologiche denotano i sedimenti di questo intervallo come depositi alluvionali in facies di piana d'esondazione e secondariamente di *crevassesplay* e canale, legati a fiumi di tipo *braided* sabbiosi, attivi durante il LGM.

6,8-4,4 m

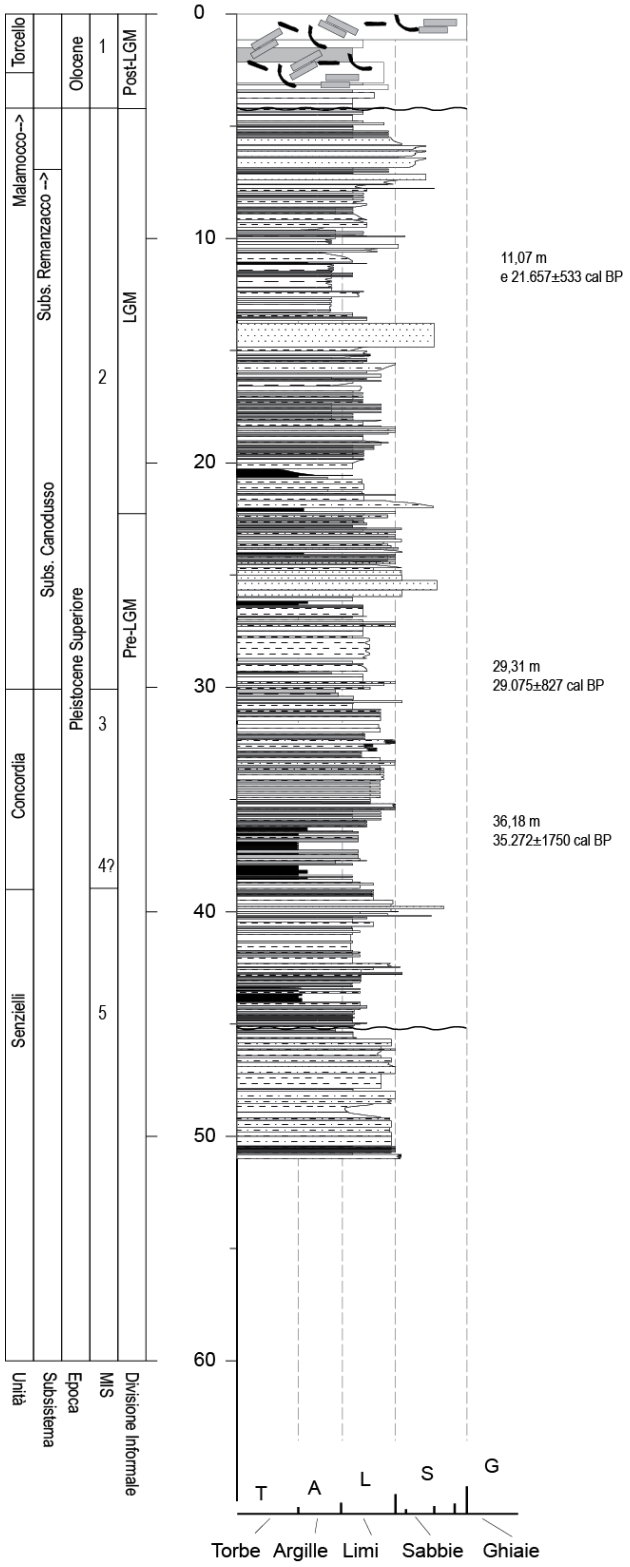
Sabbie e sabbie ghiaiose molto fini con diametro massimo dei clasti di 4 mm che divengono limi argillosi sopra i 5,00 m. Sedimenti di canale fluviale ricchi di frammenti legnosi millimetrici; una datazione radiocarbonica condotta su di un resto di legno ha fornito un'età >43.750 anni BP, ossia oltre il limite misurabile con questo metodo, evidenziando la probabile risedimentazione del frammento di legno. I sedimenti corrispondono a un paleoalveo attivo nelle ultime fasi del LGM (subsintema di Remanzacco) e alla sua disattivazione. Tra 5,50 m e il tetto, vi sono abbondanti concrezioni carbonatiche anche centimetriche che rappresentano gli orizzonti Bk e Ck del suolo sepolto che marcava il top dei sedimenti LGM: il cosiddetto "caranto".

4,40-0,00 m

Intervallo con alla base una evidente superficie erosiva sopra cui fino a 4,20 m si trovano rielaborati, assieme a reperti archeologici centimetrici, limi argillosi debolmente organici che formavano gli orizzonti superficiali del suolo sviluppato sui sedimenti della pianura LGM. Sequenza archeologica con presenza di reperti di età protostorica fino a 3,80 m (cfr. base XI secolo a.C. circa) e poi di età romana (fino al V secolo. d.C.; Croce Da Villa & Balestrazzi, 2001). Al tetto è probabile la presenza nei primi 2 metri di riporti di macerie relativi allo scavo archeologico del teatro romano effettuati nel XIX-XX secolo.

CNC4

Log Stratigrafico



7.5 Risultati analisi (CNC4)

Campioni Micro	Intervallo (m)	Volume (cc)	Forams	abec	atep	aperl	eart	ead	pangl
1	38,69 - 38,71	35	N						
2	38,82 - 38,84	30	RR	x					
3	39,17-39,19	50	C		AA	R	R		R
4	40,67 - 40,69	60	C		AA	R	R		R
5	40,94 - 40,96	35	N						
6	41,65 - 41,67	35	R/C	C	C				R
7	43,16 - 43,18	45	C	C	C				RR
8	44,00+13 - 44,00+19	55	N						
9	45,30 - 45,32	35	N						
10	49,26 - 49,28	55	C	C/A			RR		R
11	50,69 - 50,71	65	R/C	C	C	R		R	

Tab. 7.1 Micropaleontologia dei foraminiferi del sondaggio CNC4

Legenda

Forams: formainiferi
abeac: *Ammonia beccarii*
atep: *Ammonia beccarii tepida*
aperl: *Ammonia perlucida*
eart: *Elphidium articulatum*
ead: *Elphidium advenum*
pangl: *Protelphidium anglicum*

A: abbondante
C: comune
R/C: raro/commune
R: raro
RR rarissimo
N: assente
x: presenza di specie in residui con microfauna troppo diversa per poter stimare la frequenza.

Campioni Macro	Intervallo (m)	Specie (G: gasteropodi; B: bivalvi)	Ambiente
1	19,55-19,60	G: frammenti di gast. dulciacquicoli e Bithynia tentaculata	dulciacquicolo
2	30,38	G: opercolo di Bithynia e frammenti dulciacquicoli	dulciacquicolo
3	36,55	Campione argilloso conframmenti dulciacquicoli e Giraulus laevis	dulciacquicolo
4	28,9	G: opercolo di Bithynia, Giraulus laevis, frammenti dulciacquicoli	dulciacquicolo
5	39,34	G: opercolo di Bithynia, Giraulus laevis, frammenti dulciacquicoli	dulciacquicolo
6	38,75	B: frammenti di Cerastoderma glaucum	lagunare
7	39,30-39,60	G: Gibbula adriatica, Gibbula magus, Assiminea grayana, Rissoa Labiosa, Bittium scabrum Chrysallida delpretei.	lagunare
		B: Loripes lacteus, Cerastoderma glaucum, Lentidium meditterneum	
8	39,60-39,75	G: Hydrobia acuta, Ventrosia ventrosa	lagunare
		B: Loripes lacteus, Abra segmentum	
9	40,3	G: Hydrobia acuta, Ventrosia ventrosa	lagunare
10	40,55	G: 3 Theodoxus fluviatilis	dulciacquicolo
11	41,20-41,70	G: Asssiminea grayana, Hidrobia acuta con frammenti vari	lagunare
12	42,00-42,20	G: frammenti indistinti, 2 Assiminea grayana , 1 Planorbarius corneus	dulciacquicolo
13	44,00-44,15	G: frammenti di dulciacquicoli, Truncatellina cilindrica, 2 semi di piante	dulciacquicolo
14	45,6	B: Cerastoderma glaucum	lagunare
15	47,1	Rari frammenti indistinti	
16	49,20-49,70	G: Ventrosia ventrosa, nassarius nitidus	lagunare
		B: frammenti di Abra segmentum, Loripes lacteus e Cerastoderma glaucum	
17	50,30-50,70	B: frammenti di Loripes lacteus e Abra nitida	lagunare

Tab. 7.2 Analisi malacologiche del carotaggio CNC4.

8 Risultati datazioni

8.1 Datazioni al radiocarbonio ^{14}C

La tabella 8.1 riporta la datazione al radiocarbonio (non calibrata) per i campioni con l'indicazione dell'errore assoluto della misura.

Campione	Radiocarbon Age (BP)*	$\delta^{13}C$ (‰)**
LTL12860A	26.725±150	-36.9±0.1
LTL12861A	37.205±300	-26.5±0.5
LTL12862A	22.056±110	-24.8±0.2
LTL12863A	26.641±170	-24.8±0.5

Tab 8.1 Valore misurato della Radiocarbon Age.

(*) Con BP si intende una datazione convenzionale al radiocarbonio non calibrata il cui calcolo implica (Stuiver M. & Polach H. A., 1977).

- L'uso del tempo di dimezzamento di Libby (5.568 anni) rispetto al valore corretto di 5.730 anni.
- L'anno 1950 come anno di riferimento.
- L'utilizzo diretto o indiretto dell'acido ossalico come standard di riferimento.

(**) il valore riportato del termine di frazionamento isotopico degli isotopi stabili del carbonio ($\delta^{13}C$) si riferisce a quello misurato con il sistema AMS. Tale valore, pertanto, può differire dal termine di frazionamento naturale e da quello misurato mediante IRMS.

Nella tabella 8.2 sono riportati infine le età calibrate dei sedimenti torbosi campionati per i sondaggi PNC1 e BLG1.

Codice CEDAD	Campione	Datazione calibrata (livello di confidenza 2σ)
LTL12860A	PNC1-2671	29.420BC (95,4%) 29.050BC
LTL12861A	PCN1-3188	40.600BC (95.4%) 39.550BC
LTL12862A	BLG1-2878	25.000BC (95,4%) 24.100BC
LTL12863A	BLG1-3252	29.400BC (95.4%) 29.000BC

Tab. 8.2 Riepilogo delle datazioni calibrate dei campioni.

Nei grafici sotto riportati si possono osservare le calibrazioni delle datazioni effettuate tramite software OxCal Ver. 3.10 basato sui dati atmosferici.

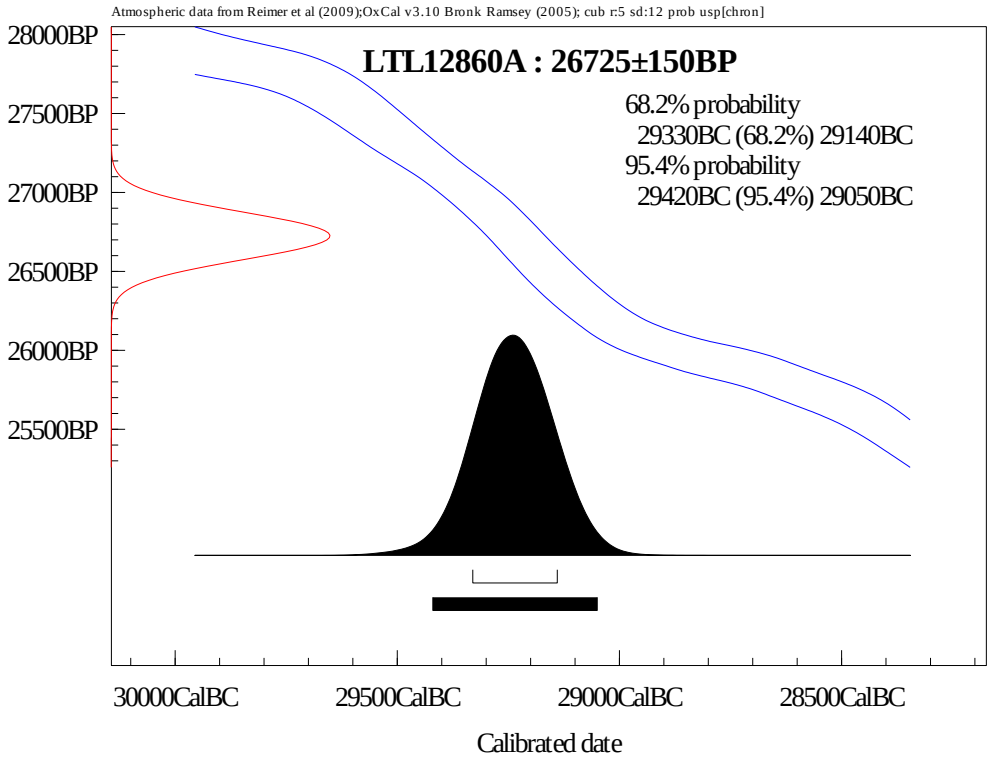


Fig. 8.1 Calibrazione della data convenzionale al radiocarbonio del campione LTL12860A.

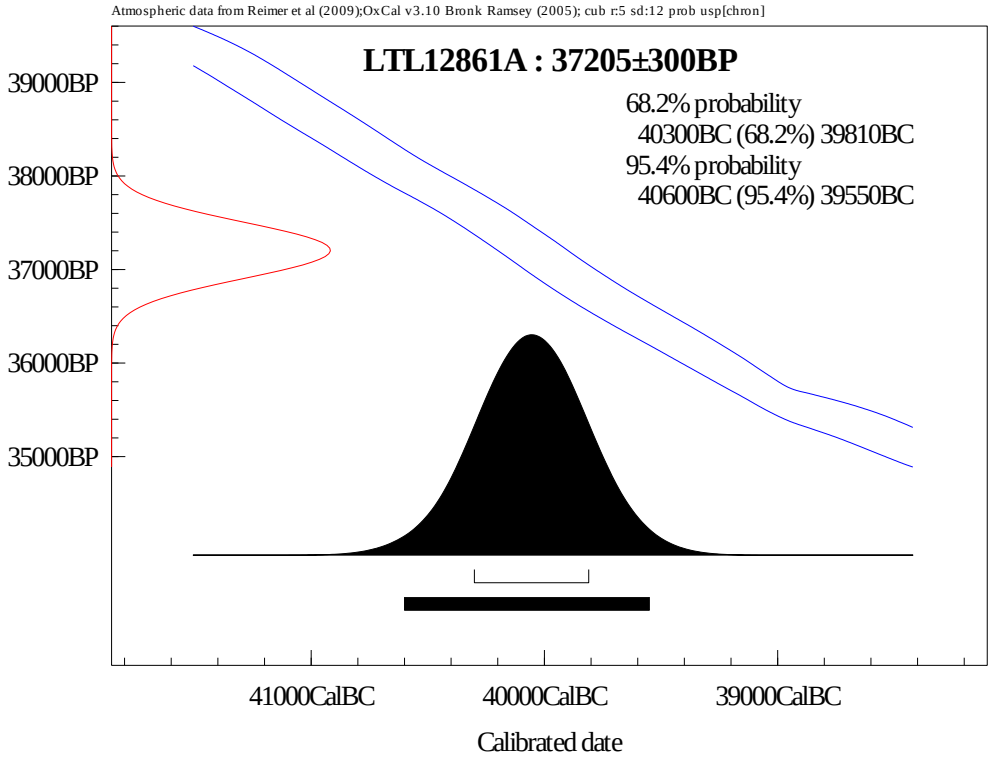


Fig. 8.2 Calibrazione della data convenzionale al radiocarbonio del campione LTL12861A.

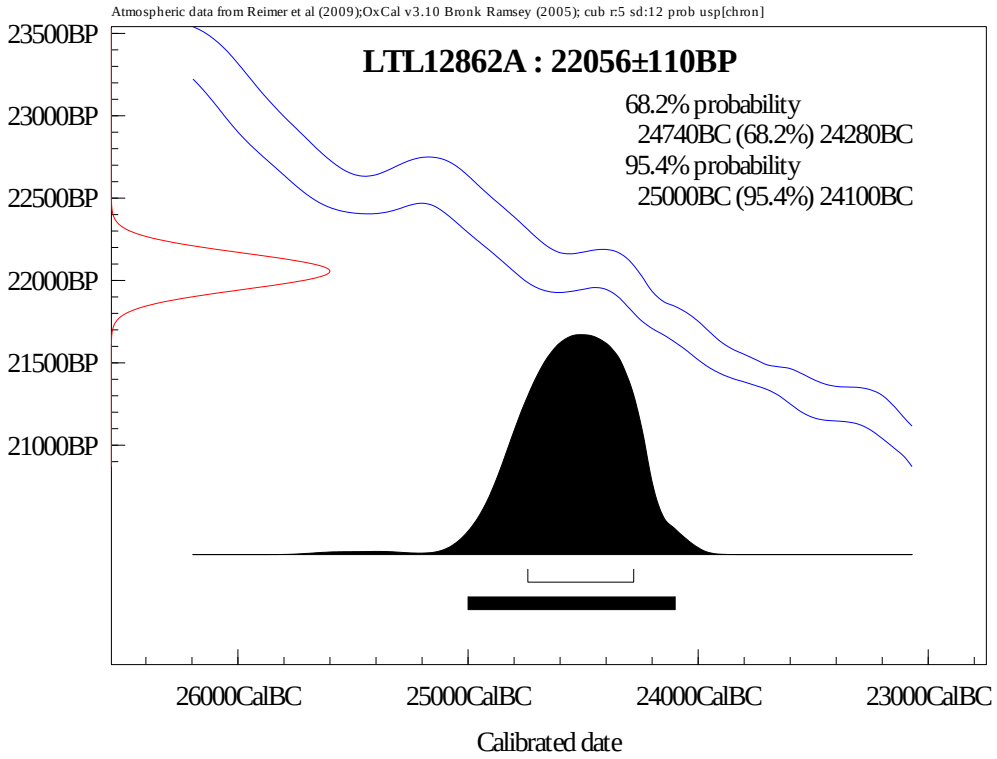


Fig. 8.3 Calibrazione della data convenzionale al radiocarbonio del campione LTL12862A.

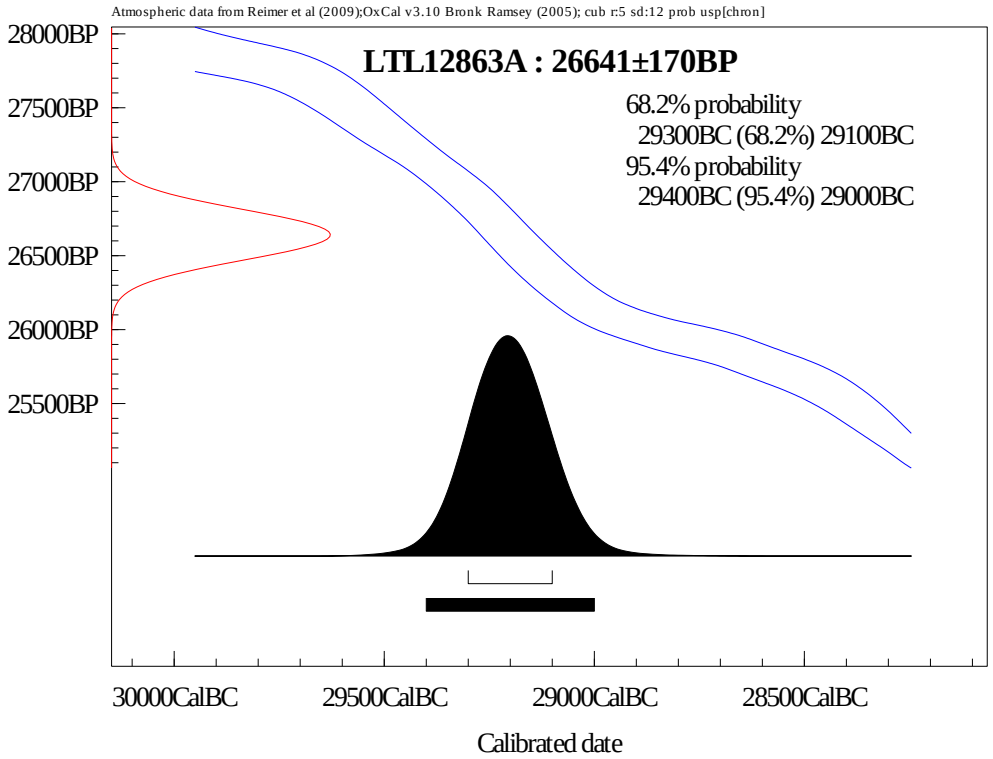


Fig. 8.4 Calibrazione della data convenzionale al radiocarbonio del campione LTL12863A.

8.2 Risultati datazioni ESR

Purtroppo non si è riusciti ad avere informazioni direttamente dal laboratorio e, quindi, di seguito si riporta le annotazioni inviate dagli analisti (responsabile U. Radtke) nel dicembre 2009 a commento delle analisi. Sono stati Riportati su un grafico i valori ottenuti dalle datazioni ESR dai quali si ottiene un picco (picco C), la cui altezza è proporzionale all'età del campione analizzato.

La dose equivalente di materiale nella matrice è un approfondimento, dedotto dai valori di U, Th e K dei livelli sottostanti. Questo ha come conseguenza che le età sono anche stime approssimative. Inoltre, la conservazione delle conchiglie non era buono, l'Uranio contenuto nei gusci dei molluschi è stato quindi influenzato da delle condizioni di sistema aperto.

Ulteriore inconveniente sulla precisione dell'età ha il contenuto sconosciuto d'acqua nel sedimento. Si è supposto un valore pari al 25% (±10%). Il contenuto di acqua ha un effetto sul contenuto di materiale nella matrice. Anche la profondità dei campioni è importante per la determinazione della misura. Anche se la profondità di campionamento è stata esattamente misurata si è assunto un valore medio di 25 m.
In conclusione anche se le condizioni per l'ottenimento di misure di stima delle età di alta qualità con il metodo ESR sono state tutt'altro che ideali, si può affermare che c'è stata sedimentazione dei campioni analizzati, situati nell'intervallo tra 51,20-50,50 m è avvenuta durante il MIS 5.

C.	Lab. N.	Ucont(i) (ppm)	Ucont(e) (ppm)	Thcont(e) (ppm)	Kcont(e) (%)	Spessore	De (Ga)	Do (aGa/a)	Age (ka)
O1	K5748	0,74	1,47	2,77	0,61	2.88 (0,19)	81.40±13.44	669±73	116.4±22.7
O1BIS	K5749	0,84	2,54	4,40	0,67	1,72 (0,26)	100.62±6.92	782±87	128.7±16,8
O2	K5750	1,50	2,54	4,40	0,67	3,18 (0,19)	134.19±10.07	946±98	141.9±18.2
O4	K5752	1,27	2,54	4,40	0,67	1,44 (0,19)	107.26±7.04	903±93	118.8±14.4
O5	K5753	0,33	2,54	4,40	0,67	2,83 (0,20)	90.23±16.50		stage 5
O6	K5754	0,37	1,40	1,32	0,24	1,34 (0,12)	174.03±18.21	389±70	446.5±92.9
O7	K5755	0,37	1,40	1,32	0,24	1,88 (0,20)	89.16±8.07	358±64	249.3±49.9
O9	K5757	0,35	1,47	2,77	1,15	1,64 (0,20)	84.37±2.86	609±78	138.6±18.4
O10	K5758	0,44	1,47	2,77	1,15	1,04 (0,07)	62.60±2.83	740±83	84.5±10.2

Tab. 8.3 Datazioni ESR.

U-cont (i) = Uranio contenuto nei gusci dei molluschi (i = interno) (in ppm).
U-cont (e) = Uranio contenuto nella matrice (e = esterno) (in ppm).
Th-cont (e) = Torio contenuto nella matrice (in ppm).
K-cont (e) = Potassio contenuto nella matrice (%).
Thickn. = Spessore dei gusci (in parentesi la quantità che è stata rimossa dopo la pulizia).
De = Dose equivalente (in Gy).
Do = Rapporto dose annua (in yGy/a).
Age (ka) = Età del campione espressa in migliaia di anni.

9 Discussione

9.1 Unità informali usate per la correlazione dei sondaggi CNC4, PNC1 e BLG1

Al fine di ottenere una correlazione verosimile fra i tre sondaggi presi in esame si è utilizzato lo schema dei rapporti stratigrafici che era stato elaborato nel Foglio 107 "Portogruaro" (Fontana et al., 2012).

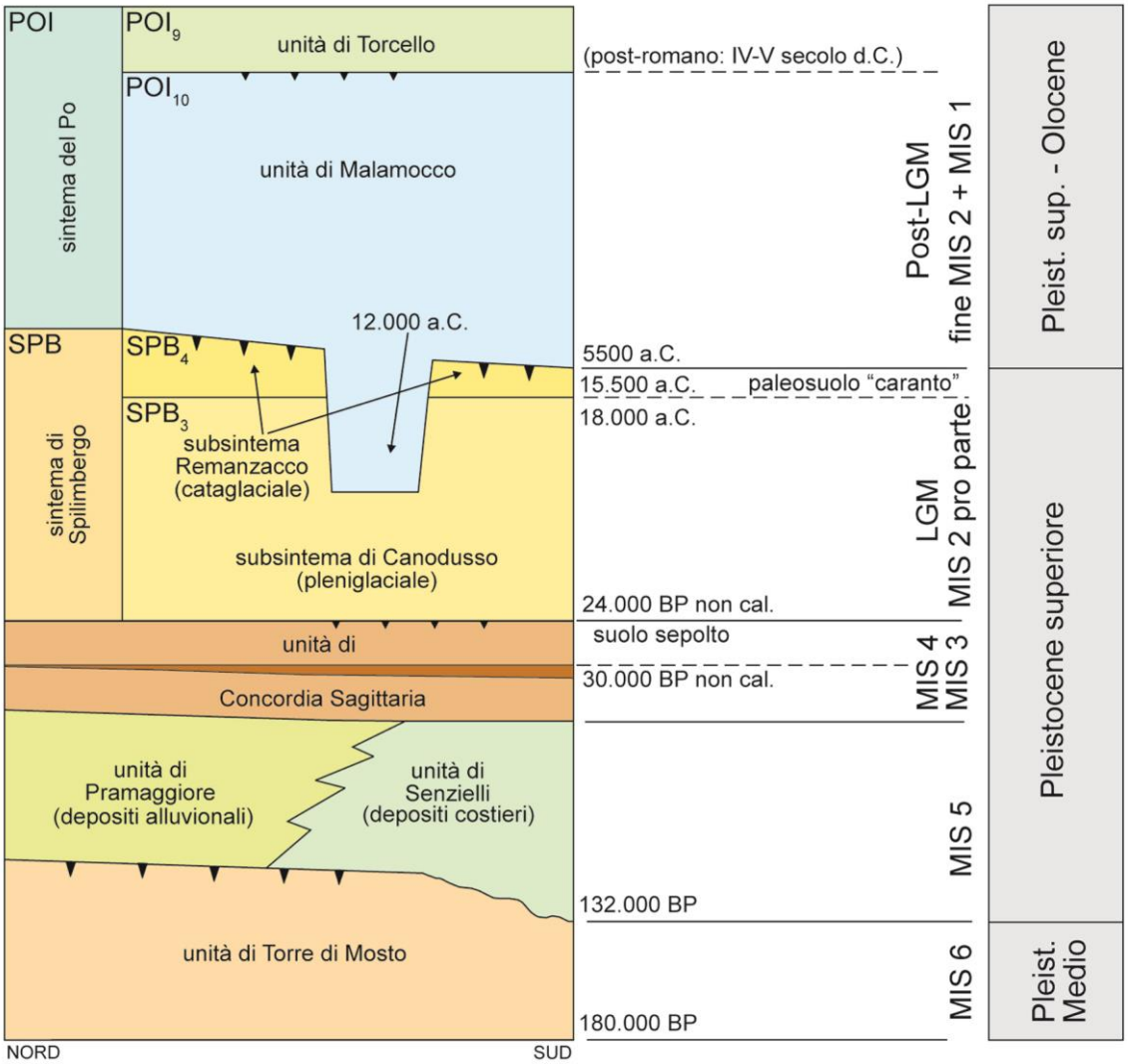


Fig. 9.1 Schema dei rapporti stratigrafici (Fontana et al., 2012).

<u>*Unità di sottosuolo*</u>

Per la caratterizzazione del sottosuolo sono state utilizzate, nell'elaborazione dei dati ricavati dai carotaggi, delle unità informali individuate su base litostratigrafica. Queste

unità create in ambito del Foglio 107 “Portogruaro” sono state prima confrontate con gli intervalli riconosciuti nei sondaggi PNC1 e BLG1 e successivamente adottate per favorire l’interpretazione del sottosuolo della bassa pianura friulana.
Le unità cosi riconosciute si distinguono in:

Unità di Torre di Mosto
Depositi alluvionali risalenti alle fasi finali della penultima glaciazione (148.000-135.000 BP), associabili e confrontabili con i depositi che caratterizzano la bassa pianura formatasi nel LGM. I sedimenti si trovano in facies di piana d’esondazione, argine naturale, crevasse clay e canali correlati a fiumi con andamento braided e/o wandering di tipo sabbioso.

Unità di Senzielli
Depositi marini e lagunari ricchi in bioclasti corrispondenti a gusci interi o frammenti di bivalvi e gasteropodi di ambiente marino del MIS 5 (132.000-74.000 BP). I sedimenti si depositano in ambiente di shoreface, delta front e piattaforma interna.

Unità di Concordia Sagittaria
Depositi alluvionali successivi ai depositi marini del MIS 5 e precedenti ai depositi alluvionali del LGM (74.000-30.000 BP). Intervallo al cui interno sono individuabili importanti hiatus deposizionali, che corrispondono a suoli e/o a depositi organici e torbosi di palude d’acqua dolce.

Unità Cartografiche
L’identificazione e la suddivisione delle unità rappresentate nel Foglio 107 “Portogruaro” sono state fatte in base alle UBSU (Unconformity-bounded Stratigraphic Unit). Le unità UBSU esportate in questo lavoro dal Foglio 107 “Portogruaro” corrispondono a corpi sedimentari identificati da superfici limite inferiore e superiore, diacrone, corrispondenti a discontinuità di rango superiore; si tratta per lo più di hiatus deposizionali caratterizzati o meno da superfici pedogenizzate oppure importanti superfici erosive.
Le unità informali di rango superiore vengono definite come sintemi, mentre le unità di rango inferiore vengono definite subsintemi.

Sintema di Spilimbergo
Depositi alluvionali connessi alla fase di massima espansione del ghiacciaio del Tagliamento durante il LGM.

Subsintema di Canodusso
L’ambiente di deposizione è quello fluvioglaciale distale, dove le acque di ablazione si organizzano in alvei tipo braided caratteristici della fase pleniglaciale del LGM compresa fra 30.000 e 22.500 cal BP.

Subsintema di Remanzacco

Formato da depositi alluvionali di corsi d'acqua di tipo wandering sedimentati nel periodo cataglaciale del LGM compreso fra 22.500 e 19.000 anni cal BP.

Sintema del Po

Raggruppa i depositi sedimentati durante il post-glaciale, comprendendo quindi gli ultimi 17.000 anni. Rappresenta i depositi senza differenze per i bacini alluvionali di provenienza.

Unità di Malamocco

Depositi alluvionali con presenza di facies di piana d'esondazione, argine naturale e canale. Questi depositi sono successivi allo scioglimento dei ghiacciai pleistocenici e precedenti al IV-V secolo d.C.

Unità di Torcello

Depositi alluvionali per lo più di dosso fluviale costituenti la parte sommitale del sintema Po, successivi alla fine del periodo romano (IV-V secolo d.C.), denominati dunque anche depositi post-romani.

9.2 Correlazione dei sondaggi profondi

Nonostante la mancanza al momento di analisi biostratigrafiche e paleoecologiche sui sondaggi BLG1 e PNC1, con l'ausilio delle datazioni al radiocarbonio disponibili per questi due sondaggi e quello CNC4 di Concordia si può comunque riuscire a correlare i tre carotaggi.

Nei sondaggi PNC1 e BLG1 sono state raggiunte profondità di campionamento rispettivamente di 64,50 e 60,00 m; a queste profondità è stato possibile riconoscere dei depositi di sicura origine continentale che si presentano con alternanze di limi argillosi e limi con livelli anche organici. La presenza di concrezioni carbonatiche, gusci di molluschi continentali e le varie tracce di resti vegetali nei due sondaggi portano a presupporre la presenza di paleosuoli. Dalla curva eustatica si deduce che nei sondaggi PNC1 e BLG1 i depositi continentali rispettivamente negli intervalli 64,50-50,23 m e 60,00-55,41 m possono appartenere alla pianura risalente alla penultima glaciazione ovvero alla parte finale del MIS 6; in questo periodo (148.000-135.000 anni BP) il mare si trovava a circa -100 m rispetto all'attuale livello marino.

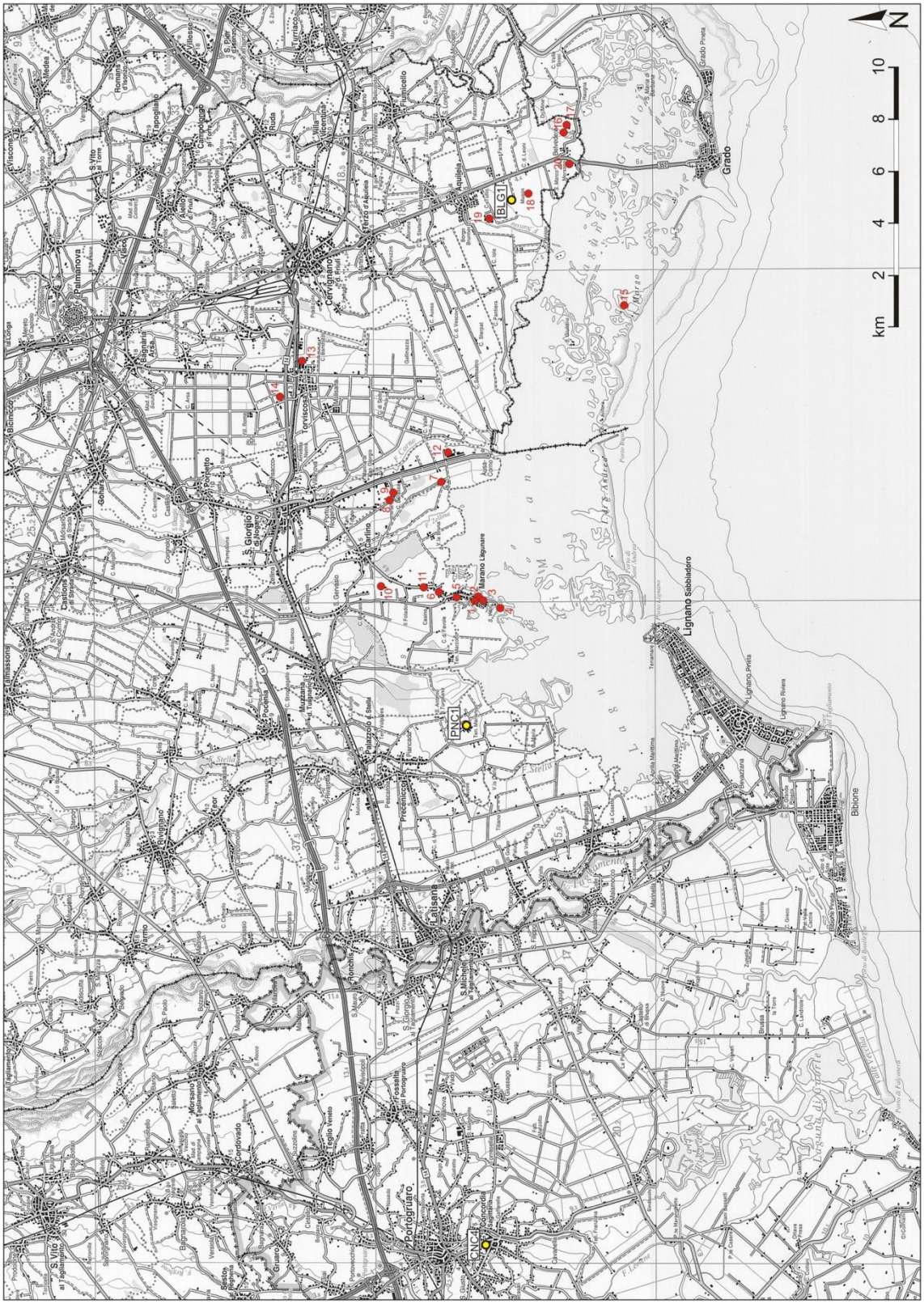


Fig. 9.2 Ubicazione dei sondaggi CNC4, PNC1, BLG1 e dei pozzi a scopo idrico della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

I depositi alluvionali risalenti alla penultima glaciazione sono confrontabili con quelli che caratterizzano la bassa pianura friulana durante il LGM. Si tratta di sedimenti di piana d'esondazione e di canali correlati a fiumi con andamento braided e/o wandering di tipo sabbioso. Questi intervalli possono rientrare nell'unità di Torre di Mosto.
In BLG1 i depositi riconosciuti come risalenti all'ultima fase del MIS 6 potrebbero in realtà appartenere alla fase immediatamente precedente della trasgressione marina del MIS 5.5, quando il livello marino, nonostante la trasgressione, non aveva ancora raggiunto l'area dove è stato effettuato il sondaggio.
Nel sondaggio CNC4, profondo 51,00 m, non si arriva ad una profondità tale nel campionamento da poter raggiungere i sedimenti continentali appartenenti alla fase finale del MIS 6.

Nei due carotaggi PNC1 e BLG1 gli intervalli di depositi continentali sono caratterizzati al tetto da una importante superficie erosiva che separa i sedimenti continentali dai sedimenti marini appartenenti al MIS 5 (132.000-84.000 anni BP), verosimilmente al Tirreniano ovvero il substage 5.5 (132.000-116.000 anni BP).
Nei sondaggi CNC4, PNC1 e BLG1 i depositi marini del MIS 5 potrebbero essere rappresentati rispettivamente dagli intervalli 51,00-39,00 m, 50,23-35,77 m e 55,41-39,30 m.
Questi intervalli possono rientrare nell'unità Senzielli che è costituita da depositi marini e lagunari formati da sabbie, sabbie limose e limi. Essi costituiscono complessivamente il cuneo marino e costiero depositatosi nella bassa pianura friulana nel MIS 5 ed è possibile che siano stati interamente deposti durante il MIS 5.5.
In tutti e tre i sondaggi risulta fondamentale il riconoscimento del substage 5.5 o Tirreniano, in quanto rappresenta un'importante fase trasgressiva del livello marino; che in questo periodo era stimato a +6±3 m rispetto l'attuale (Ferranti et al., 2006).
Nei sondaggi CNC4, PNC1 e BLG1, gli intervalli riconosciuti come deposti in ambiente marino lagunare sono posti rispettivamente negli intervalli 51,00-43,60 m, 50,23-49,69 m e 55,41-46,50 m.
I depositi marino lagunari nei carotaggi CNC4 e PNC1 si presentano con potenti livelli di sabbie con granulometria da fine a media intervallati da dei livelli più fini di argilla e limo.Questi sedimenti risalenti al MIS 5.5 sono depositi lagunari che si trovano in facies di canale lagunare e di piana lagunare. Nel carotaggio BLG1 i depositi del MIS 5.5 sono compatibili sia con facies di shoreface sia di retrobarriera (quindi un ambiente prossimo alla laguna).
La presenza dei depositi risalenti al MIS 5.5 nel sondaggio BLG1 è stata avvalorata dalle datazioni ESR, anche se questo metodo si è rilevato molto impreciso.
L'alternanza di strati sabbiosi e di livelli a granulometria più fine presenti nei tre sondaggi potrebbero indicare un cambiamento paleogeografico legato ai cambi autociclici del reticolo lagunare.
Nel sondaggio PNC1 l'intervallo 43,69-42,56 m, posto al di sopra dei depositi appartenenti al Tirreniano, è limitato al top e al botton da due discontinuità erosive

importanti. I depositi all'interno di questo intervallo sono di probabile origine continentale palustre e vengono rappresentati da alternanze di argille limose e limi argillosi con presenza di materia organica diffusa; questa fase indica una stasi nella sedimentazione. Anche nel carotaggio CNC4 c'è la presenza di un suolo, alla profondità di 43,60 m, che testimonia una deposizione in ambiente subaereo.
Questi livelli potrebbero rientrare all'interno del MIS 5.4 (116.000-108.000 anni BP); in questo caso è possibile che sia avvenuta una leggera variazione del livello eustatico.
Tuttavia è più probabile che questi depositi risalgano ad una fase di temporanea progradazione della pianura sugli ambienti lagunari avvenuta durante il substage 5.5; successivamente, sempre nello stesso periodo si è verificato una nuova espansione della laguna sulla pianura, nella quale la pogradazione della pianura ha portato ad una deposizione di sedimenti in ambiente continentale palustre.
Nel sondaggio BLG1 la presenza di frammenti di conchiglie di molluschi tipo *Spisula* sp., nell'intervallo 46,50-42,20 m, indica un ambiente più salato; quindi l'intervallo è compatibile con facies di delta front passante a prodelta. Non si può comunque escudere che anche quest'intervallo si trovi in un ambiente di retrobarriera, ma in prossimità di una bocca lagunare, che avrebbe trasportato verso l'interno molluschi tipici di facies marine più prfonde.
Potrebbero essere presenti nei sondaggi CNC4, PNC1 e BLG1 rispettivamente negli intervalli 43,60-39,00m, 42,56-35,77 m e 42,20-39,30 m anche le ultime fasi del MIS 5.5 o degli altri substage 5.3 e 5.1.

Un altro importante limite erosivo che si ritrova nel carotaggio BLG1 è posto al tetto dei sedimenti marini appartenenti ai depositi del MIS 5 e separa questi depositi marini dai successivi depositi di origine continentale.
I depositi continentali di ambiente alluvionale riconosciuti nei sondaggi CNC4, PNC1 e BLG1 rispettivamente negli intervalli 39,00-30,05 m, 35,77-26,70 m e 39,30-32,48 m sono costituiti da limi, limi sabbiosi, sabbie fini e importanti orizzonti torboso-organici che possono raggiungere anche spessori di 3 m e rappresentano verosimilmente i depositi del MIS 4 e 3. I depositi di questi intervalli possono essere inquadrati all'interno dell'unità di Concordia Sagittaria.
Nel sondaggio geognostico CNC4, grazie alle analisi fatte sulle carote, non sono stati trovati sedimenti risalenti al periodo del MIS 4 (74.000-58.000 anni BP) in quanto le datazioni effettuate alle profondità di 38,38 m, 37,58 m e 36,18 m hanno dato un risultato rispettivamente di 34.150±150, 36.330±825 e 30,885±825 anni ^{14}C BP. La datazione più recente calibrata fornisce un età di 36.000 anni e pone di fatto questi sedimenti continentali nel MIS 3 (58.000-29.000 anni cal BP).
I depositi sedimentari appartenenti al MIS 3 nel sondaggio CNC4 possono quindi essere compresi negli intervalli 39,00-36,20 m e 36,20-30,05 m; in quest'ultimo intervallo al tetto è stato riconosciuto un suolo sepolto ben conservato con la presenza degli orizzonti A/B. Bw Bwk e Ck.

Nel sondaggio PNC1 i sedimenti continentali cominciano con un livello (35,77-35,00 m) costituito da torbe che potrebbero essere dei depositi appartenenti al MIS 4. Sopra questi possibili sedimenti del MIS 4 si trovano nell'intervallo 35,00-26,70 m depositi alluvionali in facies di piana d'esondazione riferibili sicuramente alla fase finale del MIS 3. Alla profondità di 31,88 m è stata eseguita su un campione di torba una datazione al radiocarbonio che ha fornito un'età di 37.205±300 anni BP, che calibrata fornisce un età di 42.025±525 anni cal BP. Questo intervallo sembra rientrare dunque nel MIS3.
Nel sondaggio BLG1, nell'intervallo 39,30-32,48 m, potrebbero essere presenti dei depositi appartenenti al MIS 4, ma più probabilmente risalgono al periodo del MIS 3.
A 32,52 m nel sondaggio BLG1, è stata effettuata una datazione al radiocarbonio su un campione di torbe che fornisce una età di 26.641±170 anni BP, che calibratacorrisponde a 31.150±200 anni cal BP. La data individua il termine temporale del MIS 3 e l'inizio del MIS 2.

In tutti i sondaggi osservati e descritti il limite fra MIS 3 e MIS 2 (29.000-11.700 anni cal BP) non è marcato da una discontinuità erosiva, ma bensì da un notevole aumento della sedimentazione alluvionale legato all'inizio della deposizione del LGM alimentata dai sistemi fluvioglaciali.
Nel sondaggio CNC4 i sedimenti che rientrano nel Subsintema di Canodusso sono posti nell'intervallo 30,05-6,80 m. Le datazioni effettuate su campioni posti alla profondità di 29,31 m e 11,07 m hanno rispettivamente fornito età di 24.275±375 e 18.055±175 anni BP; la calibrazione di queste due date fornisce rispettivamente età di 31.025±827 cal BP e 23.600±533 cal BP.
Le caratteristiche sedimentologiche e le analisi paleontologiche, polliniche e geocronologiche denotano i sedimenti dell'intervallo 30,05-6,80 m come depositi legati a fiumi di tipo braided sabbiosi, attivi durante il LGM.
Nel sondaggio PNC1 l'intero intervallo 26,70-0,00 m rientra all'interno del Subsintema di Canodusso.
Alla profondità di 26,71 m è stata eseguita su un campione di torba una datazione al radiocarbonio che ha fornito un'età di 26.725±150 anni BP, la cui calibrazione fornisce un'età di 31.185±185 annical BP. Quest'ultima datazione è importante perché individua la base del LGM.
Come nel sondaggio CNC4, anche nel sondaggio PNC1 le caratteristiche sedimentologiche di questo intervallo denotano depositi legati a dei fiumi di tipo braided sabbiosi, attivi durante il LGM.
Due livelli a 7,40-6,85 m e 5,64-4,62 m sono strati organici e testimoniano una probabile successione di ambienti palustri legati alla stagnazione di acque di falda durante un perido di locale stasi della sedimentazione.
Nel sondaggio PNC1 anche i primissimi metri al di sotto della superfice sembrano depositi appartenenti alla pianura LGM; infatti, una datazione al radiocarbonio effettuata poco lontana dal foro di carotaggio data la superficie a circa 19.000 anni.

Nel sondaggio BLG1, invece, la base del LGM poteva trovarsi secondo le ipotesi iniziali sia alla profondità di 28,60 m sia alla profondità di 28,25 m. Una datazione al radiocarbonio, invece, effettuata alla profondità di 28,78 m, fornisce un'età di 22.056±110 anni BP, che calibrata fornisce un età di 26.500±450 annical BP.
Questa datazione ci permette di affermare che siamo già all'internodel Subsintema di Canodusso, nella fase pleniglaciale del LGM.
In questo intervallo si possono osservare i depositi continentali legati a dei fiumi di tipo braided sabbiosi appartenenti alla fase pleniglaciale del LGM, che nel sondaggio BLG1 continuano fino alla profondità di 5,62 m.

L'intervallo 6,80-4,40 del sondaggio CNC4 può essere inserito all'interno del Subsintema di Remanzacco; i depositi di questo intervallo sono composti da sabbie e sabbie ghiaiose molto fini. Questi sedimenti corrispondono a un paleoalveo attivo nelle ultime fasi del LGM e alla sua disattivazione.
L'ultimo intervallo 4,40-0,00 m del sondaggio CNC4, è separato dai depositi sottostanti da una superficie erosiva. Quest'ultimo è composto da sedimenti del post-LGM, caratterizzati da limi argillosi organici che formavano alcuni orizzonti superficiali pedogenizzati; all'interno di questi sono presenti vari reperti archeologici centimetrici.
La sequenza archeologica è composta da reperti di età protostorica fino a 3,80 m (cfr. base XI secolo a.C. circa) e poi di età romana (fino al V secolo d.C.).
I depositi dell'intervallo 4,40-0,00 sono inseribili in parte nell'unità di Malamocco e in parte nell'unità di Torcello.
Nell'intervallo 5,62-2,70 m del sondaggio BLG1 sono presenti sedimenti di canale fluviale ricchi di frammenti legnosi, macroresti vegetali, e qualche frammento di gusci di molluschi continentali.L'inizio dell'intervallo, come nel sondaggio CNC4, è inseribile nel Subsistema di Remanzacco.
L'orizzonte organico presente a 2,70 m di profondità potrebbe essere il suolo naturale olocenico sepolto dal rimaneggiamento antropico dell'area delle dune di Beligna in età storica o addirittura preistorica. Questa datazione potrebbe far inserire l'intervallo 2,70-0,00 m all'interno dell'unità di Malamocco.

9.3Correlazione con altre stratigrafie profonde della bassa pianura friulana

Lo studio delle stratigrafie dei sondaggi PNC1,BLG1 e CNC4 permette ora di poter esportare le informazioni ottenute dallo studio dei tre sondaggi ad una scala più ampia, correlandoli con le stratigrafie di altri pozzi presenti nella bassa pianura friulana.

Nei pozzi per acqua effettuati in località di Grado, descritti da Bruno Martinis (1953), la mancanza di datazioni al radiocarbonio e di altre analisi paleoecologiche, complica l'interpretazione dei pozzi e le correlazioni con essi.
Dopo una prima osservazione è risultato più semplice cercare di confrontare gli strati di torbe presenti in tutti i pozzi descritti.

La maggior vicinanza del carotaggio BLG1 con questi sondaggi e la distribuzione delle torbe in BLG1 rende verosimile il confronto con tali stratigrafie.
Si è dunque preso in esame l'intervallo 25,00-45,00 m del sondaggio BLG1, dato che in esso sono presenti vari livelli torbosi e in seguito si è proceduto con la correlazione di questi ultimi con quelli descritti nelle stratigrafie dei pozzi per acqua.

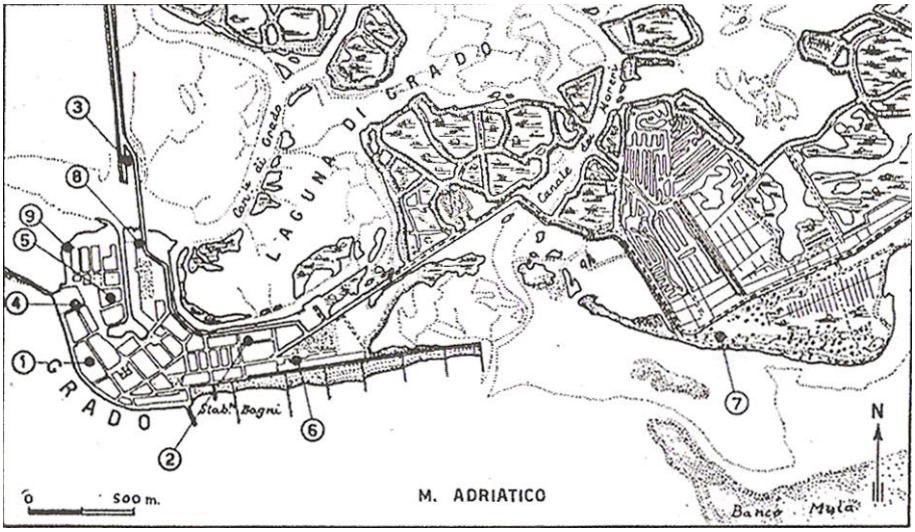


Fig. 9.3 La zona di Grado con l'ubicazione dei pozzi perforati (Martinis, 1953): 1) "Pozzo Piazza Duca d'Aosta"; 2) "Pozzo di Via Carducci"; 3) "Pozzo presso la strada di Belvedere"; 4) "Pozzo dell'Ospedale"; 5) "Pozzo Arrigoni"; 6) "Pozzo del Parco; 7) "Pozzo Pineta Rotta"; 8) "Pozzo Squero"; 9) "Pozzo del Quartiere Popolare".

Il pozzo situato in "Piazza Duca d'Aosta", eseguito nel 1900, raggiunse la profondità di 216,60 m. Si incontrarono livelli acquiferi negli intervalli 60,10-64,30 m, 156,50-157,65 m e 212,00-213,90 m. Èsegnalata a 63,50 m una manifestazione di gas metano.Nel sondaggio le torbe sono presenti nell'intervallo 39,00-38,00 m.
Il "Pozzo di Via Carducci" fu eseguito nel 1911 e raggiunse i 258,00 m di profondità. Di questi dati non è pervenuta però nessuna notizia dettagliata e l'unica informazione interessante è che a fondo foro è statorinvenuto il contatto con un'arenaria silicea compatta.
Presso la strada di "Belvedere", poco a nord di un vecchio ponte girevole, si è effettuato un sondaggio profondo 95,00 m, del quale non ci sono pervenute informazioni.
Nel "Pozzo presso l'Ospedale", perforato nel 1926 e profondo fino a 216,60 m, si incontrarono alcuni intervalli scarsamente acquiferi: uno a fondo foro, gli altri a 94,00-79,00 m e a 79,00-77,50 m. Nel sondaggio le torbe sono presenti nell'intervallo 40,50-36,00 m.
Il "Pozzo Arrigoni", perforato nel 1937, raggiunse i 218,00 m di profondità incontrando dei livelli acquiferi a fondo foro, a 106,00-100,00 m e a 75,00-70,00 m. Alcune manifestazioni di gas metano sono state osservate nell'intervallo 46,00-41,00 m.Le torbe che in questo pozzo possiamo confrontare sono presenti in due intervalli: 49,50-46,00 m e 40,00-36,00 m; in quest'ultimo sono state trovate tracce di macroresti vegetali.

Il “Pozzo del Parco”, perforato nel 1937, raggiunge i 216,00 m e si incontrarono intervalli solo scarsamente acquiferi a fondo foro e a 148,00-142,00 m di profondità.
Gli intervalli torbosi si presentarono a quote diverse rispetto agli altri pozzi, a 46,00-45,00 m e a 37,00-36,00 m.
Il “Pozzo Pineta Rotta”, perforato nel 1939, raggiunse a fondo foro la quota di 221,70 m di profondità. Si incontrarono due livelli acquiferi: il primo da fondo foro a 210,00 m e il secondo nell’intervallo 171,50-163,50 m. In questo pozzo i livelli di torba sono relativamente ridotti e si trovano a 44,00-43,00 m e 37,00-36,00 m.
Il “Pozzo Squero”, perforato nel 1947, raggiunse la profondità di 218,00 m incontrando solo un livello acquifero a fondo foro.Le torbe, con tracce di macroresti vegetali, sono presenti nell’intervallo 37,39-33,32 m.
Perforato nel 1947 il “Pozzo del Quartiere Popolare” raggiunse una profondità di 221,97 m. L’unico livello acquifero è stato trovato nell’intervallo 216,17-210,90 m, mentre gli orizzonti torbosi sono situati a 39,18-31,45 m e a 27,80-25,00 m.
In questa serie di vecchi sondaggi per pozzi in località di Grado si può inserire un altro pozzo per acqua, effettuato nell’isola di Morgo-Valle. Il pozzo è identificato con il n°15 della tabella 10.1.Le torbe, presenti in questo pozzo, sono poste nell’intervallo 30,00-37,00 m.

Secondo l’interpretazione che fornisce Bruno Martinis (1953), i depositi dei pozzi sono attribuibili a terreni che possono essere inquadrati cronologicamente nel Quaternario per le considerazioni paleoambientali e paleontologiche fatte dall’autore.
Nel sottosuolo di Grado, dall’alto verso il basso, sono stati riconosciuti tre intervalli distinti.
Nel primo intervallo sono state osservate alternanze di sabbie e argille con intercalazioni torbose, alle quali sono associate delle manifestazioni di gas, per una potenza complessiva di 150 m. Questi depositi, secondo l’autore, derivano dall’alternanza di condizioni di ambiente lagunare, deltizio e palustre.
Al di sotto di questo intervallo ci sono in prevalenza argille per una potenza che varia da 60 a 40 m; l’ambiente deposizionale ipotizzato per questi sedimenti era litorale-lagunare.
Nel terzo intervallo si sono trovati dei sedimenti ghiaiosi di origine alluvionale dello spessore compreso fra 8 e 5 m.
Gli intervalli di torbe presenti in tutti i pozzi per acqua perforati in località Grado, potrebbero essere verosimilmente gli stessi intervalli che sono stati osservati in tutta la bassa pianura veneto-friulana; infatti, nel sondaggio BLG1 c’è un orizzonte di torbe a 36,45-36,00 m e ci sono torbe alternate a strati molto organici fra 34,50 e 32,50 m.
L’ipotesi avanzata da Bruno Martinis per cui i depositi sono dovuti ad alternanze di ambienti lagunare, deltizio e palustre che per l’autore risalgono cronologicamente al periodo Würmiano non sembra oggi possibile. Infatti nel sondaggio BLG1 gli unici depositi marino-lagunari risalgono verosimilmente al MIS 5.5 e si trovano al di sopra dei 55 m. I depositi torbosi, invece, che sono oggetto del confronto, risalgono molto

probabilmente al MIS 3; in questo periodo il livello marino era circa -60 m rispetto l'attuale, quindi l'ambiente di deposizione non può essere marino-lagunare ma continentale-palustre.
Risulta dunque impossibile che i depositi dei sondaggi nell'area di Grado siano legati ad un ambiente lagunare-litorale alternato a un ambiente continentale palustre per una potenza di oltre 200 m riferibili al periodo Würmiano.
Nel 1933 la ditta Fratelli Benedetti perforò un sondaggio presso Palazzolo dello Stella, Piancada, che fu studiato poi da Feruglio (1936). La profondità del pozzo era di 175,00 m e il piano campagna era posto 3 m sul livello del mare. In quest'ultimo tra 40,00 e 35,00 m si trovarono delle torbe.
Nell'estate del 1956 è stato eseguito un sondaggio a Lignano, precisamente presso il magazzino dell'Azienda Autonoma di Soggiorno, descritto e campionato da Martinis (1957). Il pozzo a scopo idrico raggiungeva la profondità di 366,00 m. Anche in questo pozzo nel livello 38,50-37,00 m furono individuati delle torbe.

In questo caso, data la vicinanza con il sondaggio PNC1, risulta più semplice interpretare i depositi torbosi di questi due pozzi con le torbe presenti nell'intervallo 40,00-30,00 m del sondaggio PNC1.
Riferendosi al pozzo eseguito in località Palazzolo dello Stella,Feruglio afferma che i primi 35 m dal piano campagna sono sedimenti di origine alluvionale deposti nel periodo post-LGM. Attualmente, dallo studio del sondaggio PNC1, situato poco distante dal pozzo descritto da Feruglio, emerge che il piano campagna ha un età calibrata di 19.000 anni a.C. La datazione pone infatti la superficie del piano campagna alla fine della fase pleniglaciale del LGM.
Le torbe presenti nel pozzo di Palazzolo dello Stella nell'intervallo si possono correlare verosimilmente con l'intervallo di torbe 35,77-35,00 m presente nel sondaggio PNC1 e che probabilmente risalgono al MIS 4 o al MIS 3.
Nel pozzo di Lignano l'autore Martinis data i sedimenti piùsuperficiali ad un Quaternario in senso lato. Le torbe, che in questo pozzo sono poste nell'intervallo 38,50-37,00 m, rappresentano anch'esse dei depositi continentali palustri che indicano una stasi deposizionale e che potrebbero risalire al periodo del MIS 4 o al MIS 3, come nel sondaggio PNC1. Osservando le stratigrafie di questi due carotaggi, non regge l'ipotesi che i primi 45 m dei sedimenti riconosciuti nel sondaggio di Lignano siano da imputarsi ad un'alternanza di depositi lagunari con depostiti continentali, ma bensì l'origine dei depositi è da collegare ad un ambiente continentale cui negli ultimi 10 m si sovrappongono i depositi cotieri e laguanri olocenici.

Negli anni sono stati perforati alcuni pozzi per ragioni idriche che attualmente sono censiti dal Catasto regionale dei pozzi della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.
Alcune delle stratigrafie sono state selezionate e vengono qui riportate per ampliare e consolidare l'ipotesi per cui le torbe, che nei sondaggi studiati potrebbero appartenere al

MIS 4 o più probabilmente al MIS 3, sono la testimonianza di un evento a scala regionale.
Per la localizzazione dei siti in cui sono stati perforati i pozzi si dispone delle coordinate nel sistema Monte Mario 2.

N°	N° Catasto	Comune	Est	Nord	Quota campagna (m)
1	n° 0910001	Marano Lagunare	2377389	5069532	2,00
2	n° 0910003	Marano Lagunare	2377563	5069415	1,60
3	n° 0910009	Marano Lagunare	2377375	5069312	1,30
4	n° 0910011	Marano Lagunare	2377002	5068449	0,60
5	n° 0280001	Carlino	2377496	5070330	2,00
6	n° 0280002	Carlino	2377660	5070662	1,60
7	n° 0280004	Carlino	2382050	5070640	1,40
8	n° 0280005	Carlino	2381422	5072560	2,80
9	n° 0280006	Carlino	2381550	5072501	2,80
10	n° 0280019	Carlino	2377964	5072845	4,00
11	n° 0280035	Carlino	2377845	5071070	2,00
12	n° 1610045	S.Giorgio di Nogaro	2383057	5070287	0,00
13	n° 1950012	Torviscosa	2387060	5075920	1,80
14	n° 1950054	Torviscosa	2385512	5076715	4,60
15	n° 0780044	Grado	2388555	5063092	0,70
16	n° 0050004	Aquileia	2395602	5065210	0,30
17	n° 0050005	Aquileia	2395756	5065103	8,00
18	n° 0050008	Aquileia	2393266	5066794	2,50
19	n° 0050014	Aquileia	2392175	5068300	-0,60
20	n° 0050015	Aquileia	2394470	5065010	1,50

Tab. 9.1 Pozzi del catasto Regione Autonoma del Friuli Venezia Giulia (Vedi fig. 9.2).

In località Marano Lagunare (UD) si dispone di quattro stratigrafie.In questi pozzi sono stati riconosciuti dei livelli formati da torbe; nella stratigrafia del pozzo n°1 si trovano torbe nei livelli 35,00-30,00 m e 42,00-35,00.
Nel pozzo n°2 la stratigrafia mostra, a partire dalla profondità di 27,00 m fino 38,00 m, delle alternanze di torbe con dei livelli argillosi forse anche organici.
La stratigrafia del pozzo n°3 indica una limitata presenza di torbe nell'intervallo 34,00-32,00 m, mentre nel pozzo n°4 gli orizzonti torbosi sono presenti fra 37,00 e 34,00 m confinati al tetto e al letto da potenti intervalli sabbiosi.
In località Carlino (UD) le stratigrafie a disposizione appartengono a sette pozzi.
Nei pozzi n°5, n°6 e n°7 le torbe sono presenti rispettivamente negli intervalli 35,00-30,00 m, 42,00-32,00 m e 35,00-32,00 m. Nei pozzi n°8 e n°9 le torbe si presentano ad

una quota inferiore e con livelli meno potenti e si trovano negli intervalli 27,00-25,00 m e 26,50-25,00 m. Negli ultimi due pozzi in località Carlino, riconosciuti come n°10 e n°11, le torbe in stratigrafia non sono presenti.
In località San Giorgio di Nogaro (UD) la stratigrafia del pozzo n°12 mostra alcuni livelli torbosi a 19,00-17,00 m, 29,00-27,00 m e 36,00-31,00 m.
In località Torviscosa (UD) il pozzo n°13 mostra nella propria stratigrafia delle torbe limitate al livello 28,70-27,00 m; la stratigrafia del pozzo n°14 non visualizza, invece, nessun deposito torboso.
In Aquileia (UD) con precisione in località Belvedere, sono stati perforati i pozzi n°16 e n°17.
Nella prima stratigrafia l'intervallo di torba è posto a 38,00-32,00 m con intercalato un livello più grossolano di sabbia, mentre nella seconda stratigrafia l'intervallo di torbe si trova a 44,00-39,10 m.
Negli altri pozzin°18, n°19 e n°20 le torbe si trovano rispettivamentenegli intervalli 42,00-40,00 m, 34,00-30,00 m e 38,00-35,00 m.

La presenza di orizzonti torbosi nei pozzi censiti nel catasto regionale e nei pozzi riportati qui sopra, descritti e studiati nei lavori di altri autori, sono compatibili e confrontabili con i livelli di torbe presenti nei carotaggi profondi CNC4, PNC1 e BLG1.
Infatti gli orizzonti torbosi riconosciuti nei pozzi avvalorano l'ipotesi che l'ambiente continentale palustre che ha portato alla loro deposizione era molto esteso; questo è indice di un forte cambiamento nella paleogeografia regionale della bassa pianura friulana. Questo cambiamento è dovuto a un basso apporto di sedimenti provenienti da monte oppure a causa della probabile incisione degli alvei fluviali.
I depositi torbosi nei sondaggi profondi vengono collocati cronologicamente al periodo del MIS 3 ed è possibile che anche gli orizzonti torbosi di tutti gli altri pozzi possano risalire al MIS 3, oppure, anche se meno probabile in assenza di analisi sui pollini, al MIS 4.
L'assenza di livelli di torbe nei pozzi n°10 e n°11 in località Carlino (UD) e del pozzo n°14 in località Torviscosa (UD) potrebbe essere dovuta ad erosione o ad uno hiatus stratigrafico. Appare però più plausibile che i livelli torbosi non siano stati riconosciuti nelle stratigrafie dell'epoca.

9.4 Confronto con profili geofisici marini

Nonostante l'argomento di questo paragrafo sia stato marginale rispetto a tutto il lavoro di tesi, è stato utileper la possibilità di correlare gli orizzonti torbosi riconosciuti nella descrizione delle carote e rappresentati nelle stratigrafie dei sondaggi PNC1 e BLG1 con i profili geofisici, acquisiti durante due missioni oceanografiche svolte nel Mar Adriatico Settentrionale.
Per riuscire a eseguire il confronto dei profili geofisici, dopo una prima elaborazione svolta dai ricercatori dell'ISMAR del CNR di Bologna, si è provveduto ad aumentare di

molto la scala verticale per far risaltare quelle superfici più scure al di sotto del fondale marino, che possono essere interpretatr come orizzonti torbosi.
Insieme all'esagerazione della scala verticale dei profili geofisici, per poter meglio individuare gli orizzonti utili alla correlazione tramite dei software di elaborazione di immagini, si è provveduto a modificare la quantità di luce dell'immagine, il contrasto, la saturazione e il bilanciamento dei colori nero e bianco.
Uno dei problemi nel riconoscimento di superfici importanti all'interno dei profili geofisici è la risoluzione non ottimale a monitor che viene disturbata dall'effetto delle risposte multiple della superficie del fondale marino.
Un altro problema da affrontare è il cambio di scala, poiché la scala usata nei profili geofisici marini è costruita in millisecondi mentre per lavorare meglio è stata ricavata la scala metrica. Per eseguire questa operazione si è utilizzato il valore di velocità delle onde sonore nei sedimenti di 1500 m/s, che fa corrispondere 10 ms a 7,5 m, cioè 7 millisecondi corrisponderebbero a 10,5 metri.
Per il confronto effettuato fra i sondaggi studiati e i profili marini si avevano a disposizione vari profili geofisici ricavati dall'acquisizione dei dati avvenuta di fronte alla laguna di Marano. Alcuni di questi profili sono perpendicolari alla linea di costa e partono dalla costa in direzione del mare e viceversa. Altri profili sono stati eseguiti parallelamente alla costa, sempre a largo della laguna di Marano, e rappresentano dei transetti W-E.
I profili geofisici denominati VE307 e VE313, lunghi rispettivamente 22.100 e 23.000 m, sono perpendicolari alla linea di costa e vanno ambedue da mare verso costa con andamento parallelo e orientazione N-S.
Anche i profili denominati NAD70 e NAD71, lunghi rispettivamente 14.700 e 18.200 m, sono perpendicolari alla linea di costa; il primo è parallelo ai precedenti con andamento N-S ma parte da costa, mentre il secondo ha un andamento SE-NW e va da mare verso la costa.
I profili VE75 e VE76, lunghi rispettivamente 7.000 e 8.300 m, sono paralleli alla linea di costa, e disegnano un transetto che può essere per semplicità definito E-W.
Infine i profili VE254 e VE255, lunghi rispettivamente 10.500 e 5.800 m, sono anch'essi paralleli alla linea di costa e rappresentano un perfetto transetto E-W.
Per poter effettuare delle stime sulla profondità dei livelli torbosi, che nei profili geofisici marini appaiono come superfici scure, bisogna sommare 3,5 m alla quota indicata nel profilo; questo perché lo strumento è posto sotto la chiglia dell'imbarcazione e per disporre della profondità reale bisogna riportare la quota dello strumento a livello del mare.
Nei profili perpendicolari alla linea di costa VE307 e VE313 i livelli associabili a depositi torbosi sono presenti a profondità diverse; uno è osservabile a profondità superiori a 30 m ed è visibile solo verso mare, mente altri due sono meno profondi e si riconoscono verso terra a profondità poco superiori a 20 m. Nel profilo VE307 i livelli indagati sembrano essere posti a circa 34,0 m il più profondo, mentre gli altri due livelli meno profondi si riconoscono alle quote di circa 25,50 m e 24, 0 m. Nel profilo VE313

il livello di torbe più profondo sembra essere posto a circa 32,5 m mentre gli altri due livelli osservati si trovano a circa 25,5 e 24,5 m.

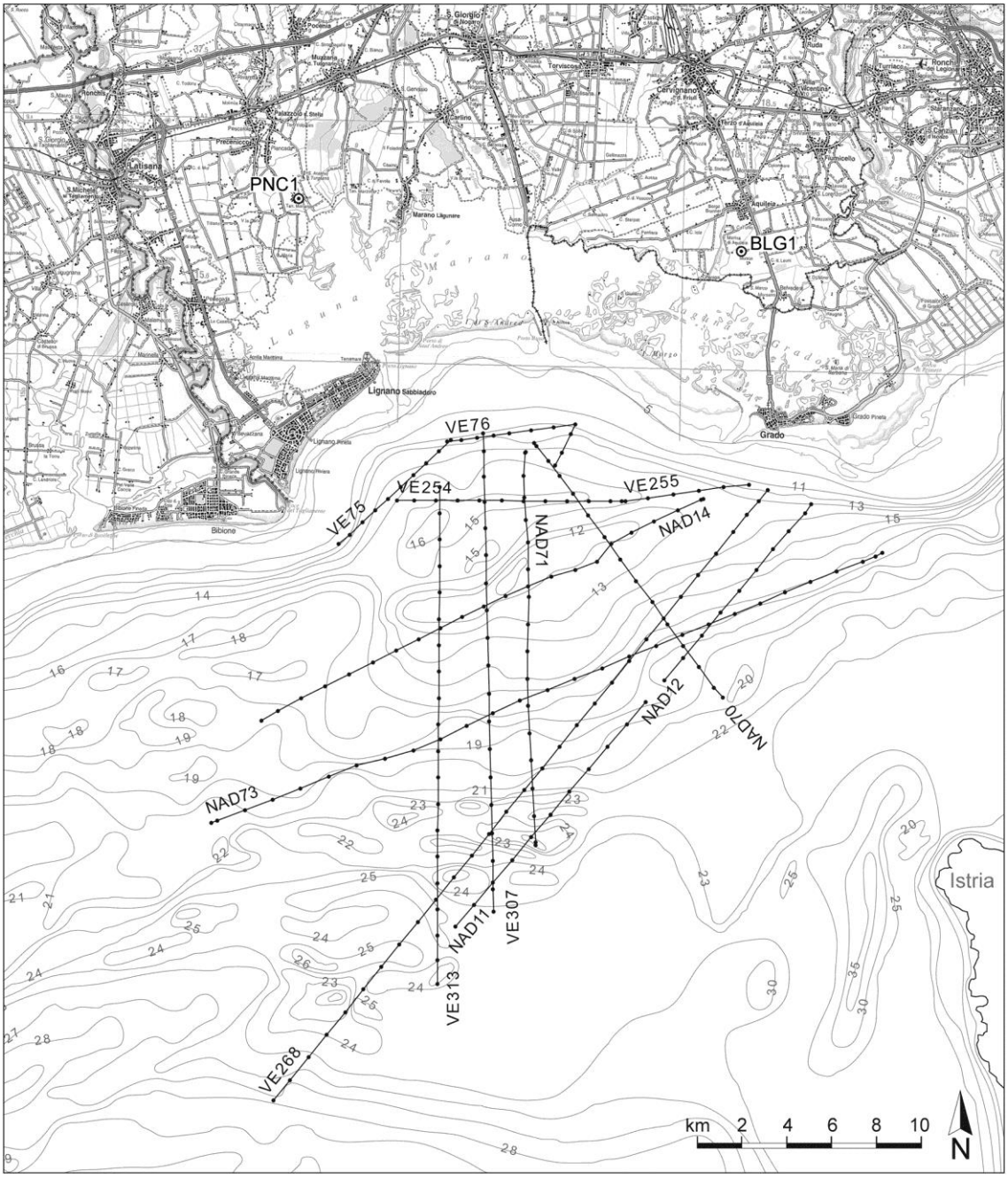


Fig. 9.4 Tracce dei profili geofisici marini.

Nel profilo più recente NAD71 il livello più profondo verso mare si trova ad una profondità di circa 28,5 m mentre verso terra si osserva un solo livello di torbe posto a circa 23,5 m. Nel profilo NAD70 si visualizzano gli stessi livelli alle stesse profondità del profilo NAD71.

Nei profili paralleli alla linea di costa VE75 e VE76 si osservano presumibilmente i due livelli torbosi più superficiali che si potevano osservare nei profili VE307 e VE313

verso terra; questi livelli si trovano nei profili VE75 e VE76 alle profondità di circa 23 e 21 m.
Negli altri due profili VE254 e VE255 che sono continui fra loro, situati più a sud dei profili VE75 e VE76, rappresentano un perfetto transetto E-W che comprende tutta l'area a largo della laguna di Marano. Nel profilo VE254 un livello torboso potrebbe trovarsi alla profondità di circa 24 m, mentre nel profilo VE255, che è fortemente disturbato dalla presenza delle multiple, potrebbe essere presente un livello più scuro alla profondità di circa 28,5 m.

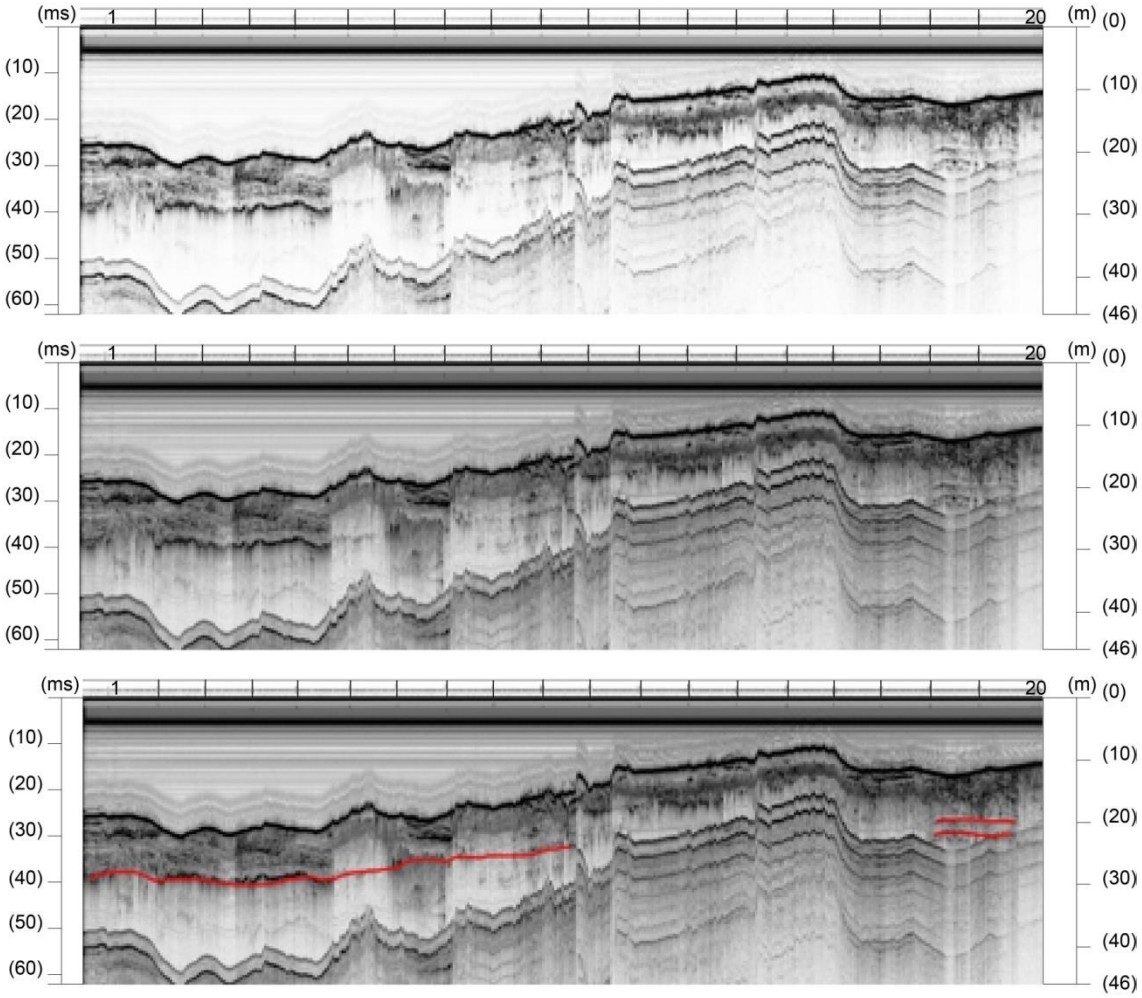


Fig. 9.5 Profilo CHIRP VE313 lungo 23.000 m. (a) Profilo dopo l'esagerazione della scala verticale; (b) Profilo con variazione di parametri come il contrasto e la lucentezza; (c) Individuazione degli orizzonti torbosi.

Osservando i profili geofisici marini dell'Adriatico Settentrionale sia perpendicolari che paralleli alla linea di costa, si nota subito la grande espansione areale che ha avuto questa deposizione di torbe nella regione. Si può anche dedurre quanto profondamente e progressivamente sia cambiata la paleogeografia dell'area di studio.
I livelli torbosi riconosciuti nei profili perpendicolari e paralleli alla linea di costa potrebbero essere confrontabili con i livelli torbosi presenti nel sondaggio profondo

PNC1. Il livello di torbe più profondo presente nei profili potrebbe correlarsi all'intervallo 35,77-35,00 m del sondaggio PNC1, mentre i livelli posti a 25,5 e 24,5 potrebbero rappresentare le torbe che nel sondaggio si trovano nell'intervallo 35,00 - 26,70 m.
Grazie alle datazioni eseguite sul sondaggio PNC1 si può affermare che i livelli torbosi identificati nei profili geofisici marini potrebbero essere risalenti al MIS 3.
Dalle osservazioni fatte sui profili geofisici si potrebbe ipotizzare che il tasso di subsidenza presente nell'area del Mar Adriatico Settentrionale indagata sia inferiore, anche se non di molto, al tasso di subsidenza presente nelle aree continentali dove sono stati perforati i sondaggi.

9.5 Variazioni eustatiche e subsidenza tettonica nella bassa pianura friulana

Le quote degli intervalli dei sondaggi presi in considerazione in questo capitolo sono riferibili al livello medio del mare; quindi è stata adottata la dicitura s.l.m (sul livello del mare) per poterle esprimere.
Lavori recenti mostrano che il maggior marker stratigrafico che può essere riconosciuto per tutta la pianura che si affaccia sull'Adriatico, è rappresentato dai depositi marini del MIS 5.5. Nella pianura costiera romagnola questo orizzonte, che costituisce la parte inferiore di una sequenza trasgressiva-regressiva, è rappresentato da un corpo costiero sabbioso cuneiforme, spesso 30 m, che può essere osservato dalla correlazione dei sondaggi a una profondità di 100-130 m, fino a 30 km a ovest della linea di costa attuale (Amorosi et al., 2004; Bondesan et al., 2006).
Nella pianura veneto-friulana l'highstand del livello marino legato all'ultimo periodo interglaciale (MIS 5.5) ha favorito la sedimentazione di cunei sedimentari deltizi e lagunari, fino a 25 km dall'attuale linea di costa. Questi depositi paralici si incontrano nel sottosuolo della pianura veneta occidentale alle profondità di 60-100 m, mentre a est di Venezia si trovano alle profondità di 40-70 m.
Studi precedenti avevano già evidenziato la presenza di depositi costieri nella bassa pianura friulana, grazie alla stratigrafia di un pozzo per acqua trivellato a percussione presso la località Piancada di Palazzolo dello Stella (Feruglio, 1936), dove la base dei sedimenti lagunari è intercettata tra 58 e 38 m di profondità che potrebbero essere correlati al MIS 5.5 (Antonioli et al. 2009).
Uno dei più importanti siti per determinare la posizione del livello marino durante il picco trasgressivo del MIS 5.5 nella pianura friulana occidentale è il sondaggio di Belfiore, caratterizzato da sedimenti lagunari nell'intervallo 51,0-46,00 m (Fontana et al., 2012). Questi depositi sono posti sopra un paleosuolo abbastanza sviluppato formatosi al top della pianura alluvionale riferibile al MIS 6. Nel sondaggio Azzano Decimo (Zanferrari et al., 2008), 6 km a nord di Belfiore, sono stati trovati solo depositi continentali risalenti alla fine del Pleistocene Medio, ma le analisi dei pollini supportano la correlazione dei depositi continentali di Azzano con i depositi lagunari di Belfiore. Se

ne deduce quindi che il limite interno della laguna si doveva trovare in una posizione intermedia fra i due sondaggi (cfr. Fontana et a., 2010).
Le caratteristiche geometriche dell'orizzonte del MIS 5.5 che immerge da nord-est verso sud-ovest, suggeriscono che durante gli ultimi 125.000 anni la piana del Po ha registrato una subsidenza di 1 mm/anno, mentre verso nord-est si registra un trend decrescente; infatti nella pianura veneta il tasso di subsidenza è di 0,6 mm/anno e nella pianura friulana il tasso è di 0,4 mm/anno (Antonioli et al., 2009).
Secondo quanto pubblicato da Ferranti et al. (2006), per stimare la posizione del livello marino nel MIS 5.5 ci si può basare sull'osservazione di alcuni marker stratigrafici e geomorfologici che rappresentano lo "0" m slm dell'epoca. I marker riconoscibili sono sette e sono suddivisi in tre classi.

Della prima classe fanno parte due indicatori deposizionali: i depositi di transizione fra spiaggia e laguna e i depositi di backshore e foreshore. Nei sedimenti di transizione fra laguna e spiaggia si segnalano soprattutto i depositi lagunari contenenti bivalvi (*Cerastodermaglaucum*, *Loripeslacteus*, *Abra* sp.) e gasteropodi (*Bittium* sp., *Rissoa* sp., *Nassarius* sp., *Cerithium* sp., *Hydrobia* sp.) tipici di ambienti con acque eurialine; questi depositi indicano verosimilmente la quota del livello marino con un'incertezza di 2 m circa. In particolare, considerando l'ampiezza di marea e gli ambienti lagunari dell'alto Adriatico si può ritenere che l'incertezza vari da –2 m slm a +0,5 m slm (Antonioli et al., 2009). I depositi di backshore e foreshore., invece, sono composti da litoclasti e bioclasti e formano in genere creste e cunei deposizionali. Se questi depositi sono confrontabili con quelli di spiaggia, possono indicare la posizione del livello marino con un'incertezza che arriva a 6 m.

Della prima classe fanno parte due indicatori deposizionali: i depositi di transizione fra spiaggia e laguna e i depositi di retrospiaggia e avanspiaggia. Nei depositi di transizione fra laguna e spiaggia si individuano i depositi lagunari contenenti bivalvi e gasteropodi marini e continentali; questi depositi indicano verosimilmente la quota del livello marino con un'incertezza di 2 m circa. I depositi di retrospiaggia e avanspiaggia, invece, sono composti da litoclasti e bioclasti che formano creste e cunei. Se questi depositi sono confrontabili con depositi di spiaggia, possono indicare la posizione del livello marino con un'incertezza che arriva a 6 m.

Con la seconda classe si identificano tre indicatori chimici e d'erosione; di questa classe fanno parte i margini interni dei terrazzi marini, i terrazzi marini e i solchi di battente. Il primo tipo indica la posizione della paleolinea di riva e per la determinazione del livello marino viene attribuito a questo marker un errore di 3 m circa. Nel secondo indicatore si prende in considerazione la massima altezza del terrazzo, che indica con un'incertezza di 20 m la quota del livello del mare. I solchi di battente sono caratteristici delle coste che hanno delle maree moderate e forniscono una misura precisa con un'incertezza di 0,2 m.

L'ultima classe comprende due indicatori biologici: il primo prende in considerazione la presenza del fossile *Lithophagalithophaga* che colonizza i primi 20 m sotto il livello del mare nelle coste costituite da rocce calcaree, ma che statisticamente è molto frequente nei primi 2 m sotto il livello del mare; infatti, l'incertezza associata a questo marker è di 2 m. Il secondo è il più importante indicatore biologico e si riferisce alle biocostruzioni in situ di alcune alghe calcaree (*Lithophyllum lichenoide*, *Neogoniolithonnotarisii*) che possono anche vivere in simbiosi con il gasteropode *Dendropomapetraeum* (Antonioli et al., 2009). Il limite inferiore della biocostruzione corrisponde al valore medio della marea e l'incertezza che viene associata a questo marker è di 0,2 m.

Per effettuare i calcoli sul tasso di subsidenza per la bassa pianura friulana si sono utilizzati dei marker di riferimento sui depositi del MIS 5.5, riconosciuti nei sondaggi CNC4, PNC1 e BLG1. Tra i vari tipi di indicatori che esistono si è lavorato esclusivamente sui depositi di transizione spiaggia-laguna.
La stima della subsidenza tettonica (compattazione, deformazioni tettoniche, isostasia) verificatasi negli ultimi 125.000 anni, si basa sul fatto che i sedimenti lagunari che si deposero al picco della trasgressione del MIS 5.5 si sedimentarono quando il livello marino era situato a +6±3 m rispetto l'attuale (Ferranti et al., 2006). Quindi, in assenza di particolari deformazioni, questi depositi si dovrebbero trovare alla medesima quota, ossia alcuni metri sopra il livello odierno, come si verifica nelle zone più stabili del Mediterraneo quali la Sardegna. Nell'area alto adriatica, invece, i depositi lagunari e marini di epoca tirreniana si trovano regolarmente alcune decine di metri sotto il livello marino attuale, dimostrando un loro sprofondamento post-deposizionale.
La stima della variazione altimetrica che hanno subito i depositi paralici tirreniani dopo la loro deposizione si basa sulla semplificazione che, se confrontiamo il periodo tirreniano e l'attuale, ci troviamo nelle medesime condizioni isostatiche. Infatti tra il picco della trasgressione tirreniana e quella attuale si è verificato un intero ciclo glacio-eustatico; di conseguenza, nell'area considerata, la deformazione crostale indotta dallo sviluppo delle calotte glaciali e della loro successiva scomparsa (calotta alpina) o riduzione (calotte polari), può essere ritenuto nullo (Ferranti et al., 2006). Dato questo presupposto, i movimenti verticali avvenuti dopo la deposizione possono essere ricondotti agli effetti delle deformazioni tettoniche e della compattazione dei sedimenti.
Si è valutato anche il possibile errore insito nei depositi lagunari, in quanto non si è a conoscenza del tipo di ambiente lagunare in cui è avvenuta la deposizione dei livelli considerati; si è assunta quindi un'incertezza che varia da +0,5 a -2 m.
In seguito si è sottratta a questi valori la quota campagna dei sondaggi.
Il calcolo sul tasso di subsidenza si è ricavato per 130 ka, 125 ka e per 120 ka. Il valore medio finale è stato considerato in seguito solo per i dati ricavati per 125 ka.
Per il calcolo della subsidenza tettonica media attuatasi dalla deposizione dei sedimenti lagunari nel MIS 5.5 ad oggi è stata usata la seguente formula, originariamente proposta da Lambeck et al. (2004):

$$u = \frac{\Delta H}{T_{5.5}} \text{ and } \sigma_u{}^2 = \frac{\sigma_{\Delta H}{}^2}{T_{5.5}{}^2} + \left(\frac{\Delta H}{T_{5.5}{}^2}\right)^2 \sigma_{T_{5.5}}{}^2$$

$\Delta H = H_{5.5} - \delta H_{5.5}$
in cui $H_{5.5}$ è la quota dell'indicatore del livello marino del MIS 5.5 rispetto all'attuale medio mare (nel caso specifico si tratta di termini negativi) e $\delta H_{5.5}$ è l'altezza degli indicatori del livello marino del MIS 5.5 nelle aree stabili.

$T_{5.5}$ è l'età dell'indicatore con un'incertezza $\sigma_{T5.5}$ e $\sigma^2_{\Delta H}$ è l'incertezza dell'innalzamento tettonico ($=\sigma^2_{H5.5} + \sigma^2_{\delta H5.5}$).

Sono stati adottati i seguenti valori:
$T_{5.5}$= 125.000 anni
$\sigma_{T5.5}$= 5000 anni
$\delta H_{5.5}$= 6 m
$\sigma^2_{H5.5}$= 3 m

CAROTAGGIO CNC4						
Profondità marker dalla superficie (m)	Quota sul livello del mare (superficie attuale +1,4 m) (m slm)	Differenza tra quota marker in MIS 5.5 (6±3 m) e quota marker attuale (m)	Quota marker considerando l'incertezza della quota originaria (+0,5; -2,0 m)	Tasso di subsidenza tettonica medio calcolato in diversi intervalli di tempo (mm/anno)		
				130.000 anni	125.000 anni	120.000 anni
45,28	43,28	52,28	52,78	0,41	0,42	0,44
			50,28	0,39	0,40	0,42
		46,28	46,78	0,36	0,37	0,39
			44,28	0,34	0,35	0,37
44,00	42,00	51,00	51,50	0,40	0,41	0,43
			49,00	0,38	0,39	0,41
		45,00	45,50	0,35	0,36	0,38
			43,00	0,33	0,34	0,36
40,73	38,73	47,73	48,23	0,37	0,39	0,40
			45,73	0,35	0,37	0,38
		41,73	42,23	0,32	0,34	0,35
			39,73	0,31	0,32	0,33
Tasso medio della subsidenza (mm/anno) negli ultimi 125.000 anni:					0,37	

Tab. 9.2 Calcolo del tasso di subsidenza nel sondaggio CNC4

CAROTAGGIO PNC1						
Profondità marker dalla superficie (m)	Quota sul livello del mare (superficie attuale +1,4 m) (m slm)	Differenza tra quota marker in MIS 5.5 (6±3 m) e quota marker attuale (m)	Quota marker considerando l'incertezza della quota originaria (+0,5; -2,0 m)	Tasso di subsidenza tettonica medio calcolato in diversi intervalli di tempo (mm/anno)		
				130.000 anni	125.000 anni	120.000 anni
50,23	48,83	57,83	58,33	0,45	0,47	0,49
			55,83	0,43	0,45	0,47
		51,83	52,33	0,40	0,42	0,44
			49,83	0,38	0,40	0,42
48,00	46,60	55,60	56,10	0,43	0,45	0,47
			53,60	0,41	0,43	0,45
		49,60	50,10	0,39	0,40	0,42
			47,60	0,37	0,38	0,40
43,69	42,29	51,29	51,79	0,40	0,41	0,43
			49,29	0,38	0,39	0,41
		45,29	45,79	0,35	0,37	0,38
			43,29	0,33	0,35	0,36
Tasso medio della subsidenza (mm/anno) negli ultimi 125.000 anni:					0,41	

Tab.9.3 Calcolo del tasso di subsidenza nel sondaggio PNC1

CAROTAGGIO BLG1						
Profondità marker dalla superficie (m)	Quota sul livello del mare (superficie attuale +2,0 m) (m slm)	Differenza tra quota marker in MIS 5.5 (6±3 m) e quota marker attuale (m)	Quota marker considerando l'incertezza della quota originaria (+0,5; -2,0 m)	Tasso di subsidenza tettonica medio calcolato in diversi intervalli di tempo (mm/anno)		
				130.000 anni	125.000 anni	120.000 anni
55,41	53,41	62,41	62,91	0,48	0,50	0,52
			60,41	0,46	0,48	0,50
		56,41	56,91	0,44	0,46	0,47
			54,41	0,42	0,44	0,45
46,50	44,50	53,50	54,00	0,42	0,43	0,45
			51,50	0,40	0,41	0,43
		47,50	48,00	0,37	0,38	0,40
			45,50	0,35	0,36	0,38
43,65	41,65	50,65	51,15	0,39	0,41	0,43
			48,65	0,37	0,39	0,41
		44,65	45,15	0,35	0,36	0,38
			42,65	0,33	0,34	0,36
Tasso medio della subsidenza (mm/anno) negli ultimi 125.000 anni:					0,41	

Tab.9.4 Calcolo del tasso di subsidenza nel sondaggio BLG1

Nei sondaggi per effettuare il calcolo della subsidenza, si sono prese delle quote che potessero indicare la quota zero del livello del mare durante l'acme della fase trasgressiva tirreniana. Nel sondaggio CNC4 le quote utilizzate 45,28 e 40,73 m sono state prese su dei limiti erosivi che dividevano dei sedimenti ricchi in materia organica da altri poveri in materia organica, mentre la quota 44,00 è stata presa alla base di un livello di limi torbosi.
Anche per gli altri sondaggi sono state prese le quote rispettivamente di 50,23, 48,00 e 43,69 m per PNC1 e di 46,50 e 43.69 per BLG alla base di livelli ricchi in materia organica. I depositi marini basali in BLG1, a 55,41 m non sono lagunari e, per quanto detto anche nella descrizione del carotaggio ci sono addirittura delle parti che vengono attribuite forse a facies di prodelta. Quindi il valore paleobatimetrico di questi strati è significativamente più impreciso e potrebbe anche riguardare sedimenti situati a –6 m. il loro senso è molto limitato. Per BLG1 si devono considerare maggiormente gli intervalli 46,5 e 43,65 m.
I risultati sul calcolo della subsidenza mostrano per i carotaggi CNC4, PNC1 e BLG1 rispettivamente i valori 0,37 mm/anno, 0,41 mm/anno e 0,41 mm/anno. Questi dati sembrano concordare con quelli ricavati da altri autori (Amorosi et al., 2008).

10 Evoluzione della bassa pianura friulana nel Pleistocene Superiore

10.1 Penultima glaciazione (fine del MIS 6)

Durante l'acme della penultima glaciazione, verificatosi alla fine del MIS 6, verosimilmente tra 148.000 e 135.000 anni fa (Pini et al., 2009), furono raggiunte condizioni climatiche pleniglaciali e i ghiacciai alpini fuoriuscirono dagli sbocchi vallivi; la pianura subì una notevole fase di sedimentazione che, per tassi di deposizione e architettura deposizionale, è confrontabile con quella verificatosi nel LGM.
In base ai carotaggi analizzati direttamente e ai pochi altri dati di sottosuolo disponibili che raggiungono profondità di oltre 50 m, si può affermare che nella bassa pianura i depositi risalenti alla penultima glaciazione sono in prevalenza costituiti da sedimenti fini. Le sabbie sono infatti poco presenti e formano dei corpi potenti meno di 1 m. Le facies sedimentarie sono riconducibili a piana d'esondazione, argine naturale, crevasse splay e canali fluviali sottili e discontinui correlati a fiumi con andamento braided e/o wandering di tipo sabbioso. Nel sondaggio PNC1 sono ben riconoscibili anche degli orizzonti organici che corrispondono a periodiche fasi di stasi della sedimentazione.

10.2 MIS 5

Al di sopra dei depositi alluvionali del MIS 6, i sondaggi geognostici hanno individuato dei depositi di ambiente costiero e lagunare o deltizio appartenenti all'ultimo periodo interglaciale, corrispondente alla porzione iniziale del MIS 5 e più precisamente al substage 5.5 o Tirreniano (132.000-116.000 anni BP). In questo periodo, attorno a 125.000 anni fa, il livello marino raggiunse la quota massima di +6±3 m rispetto l'attuale (Ferranti et al., 2006). Nell'area di studio tale fase di highstand consentì la formazione di sistemi lagunari e apparati deltizi.
I depositi degli intervalli riconosciuti nei sondaggi PNC1, BLG1 e CNC4 sono caratterizzati da facies lagunari. La loro deposizione fa parte del cuneo costiero che si formò durante il Tirreniano e che ha annullato la pendenza della pianura precedente, caratterizzata da un gradiente di circa 1‰. Si è così potuta formare una superficie pressoché piana.
Dopo la fase calda che portò alla trasgressione Tirreniana si sono verificati due substage freddi, il MIS 5.4 e il MIS 5.2, cui si alternarono due substage relativamente caldi, MIS 5.3 e 5.1, durante i quali il livello marino globale risalì fino a circa -20 m s.l.m. Nei carotaggi considerati in questa tesi questi periodi successivi al MIS 5.5, se testimoniati, corrispondono a pochissimi metri. Pare però più verosimile l'ipotesi che essi siano praticamente assenti e che i depositi marini siano tutti riferibili al MIS 5.5. La probabile assenza di depositi riferibili ai substage successivi al MIS 5.5 nei sondaggi, è spiegabile col fatto che dopo l'acme della trasgressione tirreniana, il livello del mare non raggiunse

più quote tali che permisero la deposizione di sedimenti costieri, al di sopra dei depositi marino-lagunari tirreniani nella bassa pianura friulana.
E' importante segnalare che l'intervallo in facies continentale riconosciuto in CNC4 e in PNC1 rispettivamente a 45,20-43,60 e 43,69-42,56 m di profondità sembra corrispondere ad una temporanea progradazione della pianura, cui seguì una nuova estensione dell'ambiente lagunare verso l'interno. Per quanto scritto sopra, questa fase si verificò durante il MIS 5.5.
Dato che il livello marino nel Tirreniano raggiunse al massimo + 6 m slm., e stimando che il gradiente topografico della pianura preesistente avesse valori compresi fra 0,8-1,2‰, si può dedurre che il margine interno della laguna durante il MIS 5.5 si trovava rispettivamente a 11 e 13 km verso l'entroterra. Tuttavia dato il rapido passaggio da ambienti di conoide alluvionale ad ambienti lagunari nella pianura friulana, la pendenza varia anche di un valore considerevole in pochi chilometri, quindi ci si limita ad affermare che il margine interno della laguna nel MIS 5.5 si trovava probabilmente spostato verso terra di un valore compreso fra i 5 e i 10 km.
Con lo stesso principio, attribuendo alla piattaforma adriatica un gradiente inferiore a 1‰ e sapendo che il livello marino globale nei substage 5.3 e 5.1 rimase costantemente sotto i -20 m s.l.m. rispetto all'attuale, si può verosimilmente supporre che la linea di costa all'epoca fosse situata alcune decine di chilometri più verso mare.

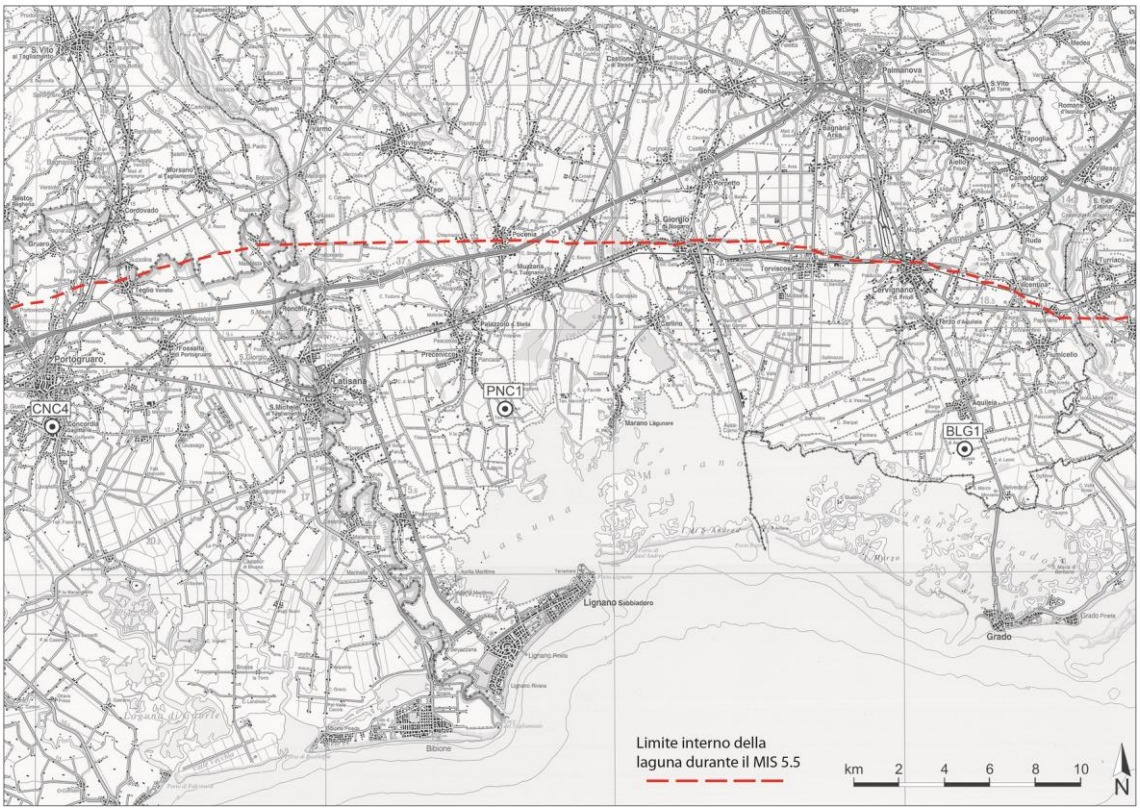


Fig. 10.1 Ricostruzione della posizione più interna raggiunta dal margine lagunare durante highstand del MIS 5.5.

10.3 Würm Inferiore e Medio (MIS 4 e 3)

A livello globale la transizione tra MIS 5 e MIS 4 viene identificata attorno a 80.000 anni fa, cioè si passò da delle condizioni climatiche relativamente più calde a condizioni relativamente più fredde. I depositi risalenti al MIS 4 in tutta la bassa pianura friulana sono scarsamente documentati nei sondaggi profondi, ma non sono state riconosciute importanti superfici di natura erosiva che giustifichino una loroeventuale asportazione post-deposizionale. E' invece più plausibile che essi non si siano mai sedimentati e che, quindi, nelle pianure alto adriatiche la deposizione rimase molto scarsa o quasi assente per un tempo prolungato, che probabilmente nella bassa pianura friulana è durato fino a circa 35.000 anni fa comprendendo quindi tutto il MIS 4 e parte del MIS 3. L'assenza di deposizione è verosimilmente spiegabile con il mancato apporto di sedimenti provenienti da monte e con l'eventuale incisione degli alvei fluviali rispetto alla superficie generale.
Questo hiatus deposizionale è rappresentato da alcuni potenti orizzonti di torbe. Nel sondaggio BLG1 e nel CNC4 queste raggiungono uno spessore di 3 m circa, mentre nel sondaggio PNC1 vi sono degli intervalli torbosi di alcuni decimetri che precedono i sedimenti LGM, ma esse sono alternate con dei livelli di sedimento argilloso-limoso.
In base ai dati pollinici del carotaggio CNC4, questi orizzonti di torbe si sono deposti in un ambiente palustre continentale, talvolta direttamente al di sopra dei depositi marino-lagunari risalenti al MIS 5.5. Tale assetto è stato probabilmente reso possibile dal fatto che il cuneo costiero formatosi durante il Tirreniano ha annullato la pendenza della pianura precedente. Si è così potuta formare una superficie pressoché piana su cui la stagnazione delle acque di falda è stata favorita. Ciò avrebbe quindi reso possibile l'accumulo di materiale organico durante parte dei MIS 4 e 3, quando l'apporto di sedimento clastico fu quasi assente.
Dai profili geofisici acquisiti durante due campagne oceanografiche nell'Adriatico Settentrionale, è stato possibile osservare degli orizzonti torbosi al di sotto del fondale marino. Questi livelli verosimilmente sono confrontabili con i livelli organici e torbosi che sono stati riconosciuti e descritti nei sondaggi PNC1, BLG1 e CNC4.

10.4 LGM

Le condizioni ambientali caratteristiche della fase pleniglaciale LGM (30.000-22.000 anni cal BP) favorirono una notevole produzione di detriti nell'area alpina e prealpina; il movimento dei ghiacciai garantiva un efficace trasporto dei sedimenti fino alle fronti glaciali, alimentando poi i sistemi fluvioglaciali con un'importante portata liquida e solida. In questo periodo caratterizzato da abbondante sedimentazione venne favorito lo sviluppo areale e verticale di tutti i megafan alluvionali dell'area friulana.
Lo spessore dei sedimenti deposti durante LGM è in genere superiore a 15 m, come si può constatare anche dai sondaggi PNC1, BLG1 e CNC4, dove tali depositi raggiungono una potenza compresa fra 20 e 25 m. I sedimenti depositati nel LGM,

come i depositi del MIS 6 osservati nei sondaggi, sono rappresentati da alternanze di livelli centimetrici e decimetrici di argille limose e limi con intercalati degli orizzonti torbosi non molto spessi e livelli di sabbie fini di spessore metrico.
Le caratteristiche sedimentologiche denotano i sedimenti di questi sondaggi come depositi alluvionali in facies di piana d'esondazione e secondariamente di canale, legati a fiumi di tipo braided sabbiosi. Si tratta di tipologie che attualmente non hanno riscontro in nessun fiume della pianura padana e veneto-friulana.
Per effetto della fase di stazionamento basso del mare, la sedimentazione fluviale si estese anche sulla piattaforma Adriatica, fino ad alcune decine di chilometri oltre la costa attuale (Trincardi et al., 2011); i depositi LGM sono infatti affioranti o subaffioranti su molte porzioni del fondale marino oltre la fascia dove sono presenti i delta olocenici. La rapida aggradazione subita dalla pianura friulana nel LGM contrasta con i classici modelli di stratigrafia sequenziale. Infatti, normalmente la fase di caduta del livello marino e la fase di lowstand fecero scendere il mare al di sotto della scarpata continentale che margina le coste oceaniche, innescando così una profonda erosione delle pianure (Blum & Tornqvist, 2000). L'Adriatico, invece, si ritirò nella sua parte centrale, oltre 400 km di distanza dalle attuali coste della pianura veneto-friulana, lasciando in condizioni di pianura continentale l'Adriatico settentrionale (Correggiari et. al., 1996). Con molta probabilità, il basso gradiente topografico che caratterizzava i territori emersi, assorbì gli effetti dell'abbassamento eustatico del periodo pleniglaciale e, di conseguenza, non si innescò il processo di erosione nelle aree della bassa pianura.
Tra 22.000 e 19.000 anni cal BP si verificò la fase cataglaciale del LGM, che nell'area friulana causò l'inizio della deglaciazione, con il conseguente abbandono delle cerchie moreniche più esterne dell'anfiteatro morenico. In questo periodo si verificò un primo terrazzamento dell'alta pianura, mentre nella bassa i sedimenti fluviali si depositano al di sopra di quelli pleniglaciali, costituendo anche dossi rilevati.
Il terrazzamento dell'alta pianura friulana produsse molto materiale grossolano non solo per effetto dell'erosione laterale nell'alta pianura, ma anche per il confinamento dei corsi d'acqua, che ne aumentò la capacità di trasporto idaulico. Per questo i sedimenti cataglaciali sono caratterizzati dalla presenza di sabbia e ghiaie, mentre nella pianura pleniglaciale i depositi grossolani erano confinati entro la linea delle risorgive.
Una datazione che fornisce un'età di 26.500±450 cal BP che è stata effettuata su un campione di torba alla profondità di 28,78 m del sondaggio di Beligna (BLG1), situato al limite dei rilievi morfologici di Belvedere e San Marco di Aquileia, permette di stimare che il substrato su cui poggiano questi rilievi risale alla fase pleniglaciale del LGM. Di conseguenza è plausibile affermare che le stesse dune sabbiose di Belvedere e San Marco si siano deposte nelle fasi finali del LGM. Non sono ancora disponibili dati precisi, ma è possibile che questi alti morfologici siano stati costruiti durante il cataglaciale.

10.5 Tardoglaciale

In questo lavoro di tesi non sono stati aggiunti dati significativi riguardanti il periodo tardoglaciale in quanto, tra i carotaggi descritti in dettaglio, solo nel sondaggio BLG1 vi sono dei sedimenti che potrebbero essersi deposti nel post-LGM, ma prima dell'Olocene. Vengono qui presentati alcuni concetti fondamentali riguardo al tardoglaciale per dare completezza a questo capitolo che riguarda l'evoluzione della zona nel Pleistocene Superiore.
Con il ritiro dei grandi ghiacciai alpini all'interno delle valli, anche quello alimentato dal bacino del Tagliamento abbandonò completamente il suo anfiteatro e causò la completa disattivazione di molti dei sistemi fluvioglaciali che aveva abbondantemente alimentato durante i millenni precedenti. In particolare, nel passaggio tra LGM e tardoglaciale (circa 17.500 anni cal BP) il megafan del Cormor e il conoide del Corno di S. Daniele si disattivarono quasi completamente. Da segnalare che da quel momento il Cormor divenne un piccolo corso torrentizio, fortemente inciso nelle sue alluvioni LGM fino a Pozzuolo del Friuli e, fino agli inizi del XX secolo, le sue acque si disperdevano poco a sud di Castions di Strada, nella cosiddetta palude di Mortegliano (Fontana, 2006). Una storia analoga ha avuto il Corno, ben inciso nell'alta pianura, e che giungeva naturalmente fino poco a sud di Codroipo, immediatamente a monte delle risorgive del Fiume Stella (Fontana, 2006).

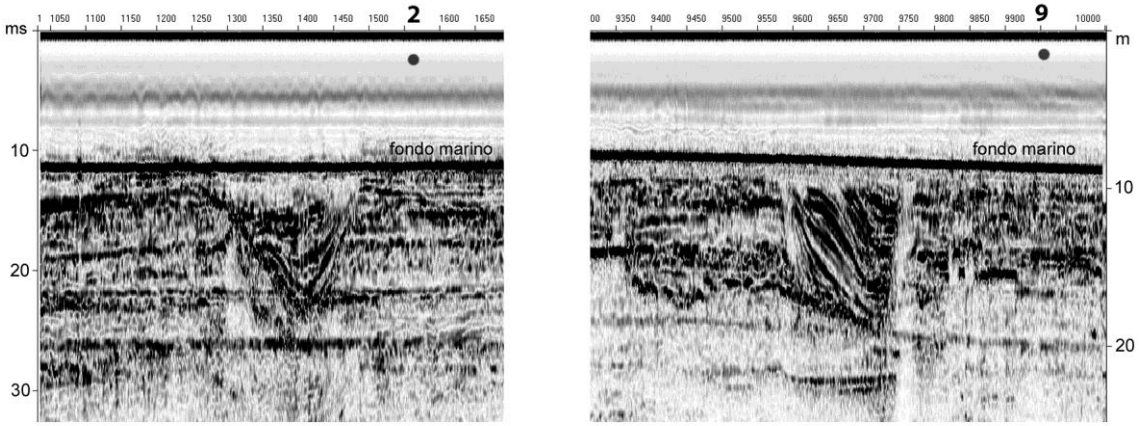


Fig. 10.2 Evidenze di incisioni fluviali nel profilo CHIRP VE76. Le immagini sono larghe circa 700 m e i numeri in alto corrispondono ai mark evidenziati in Fig. 9.4.

In generale tutta la pianura friulana fu soggetta ad una fase di scarsa deposizione e di importante incisione dei corsi fluviali, che perdurò fino a circa 8.000 anni fa, quando il mare raggiunse una posizione confrontabile con l'attuale. Durante il tardoglaciale nei megafan del Tagliamento e dell'Isonzo si formarono delle incisioni profonde fino a 20 m rispetto al tetto del LGM anche nella bassa pianura e continuavano per alcuni chilometri anche nell'attuale piattaforma adriatica (Fontana et al., 2008). Infatti, i profili geofisici rilevati nel mare Adriatico Settentrionale mostrano dei canali incisi nei

depositi alluvionali del LGM e il cui riempimento è stato datato alle fasi iniziali dell'Olocene (Trincardi et al., 2011). Verosimilmente, quindi, si tratta della continuazione di alcune delle incisioni fluviali che furono scavate nella pianura durante il tardoglaciale. Indizi di queste incisioni sono ad esempio visibili nei profili sismo-acustici NAD11, VE307, VE313 e VE76 considerati in questa tesi.
Data la stabilità di ampie superfici della pianura, su queste agirono i fiumi di risorgiva che attuarono un'azione erosiva formando così lungo i loro percorsi delle sottili incisioni.

11 Conclusioni

La ricerca di questo lavoro di tesi ha permesso di approfondire le conoscenze relative al sottosuolo della bassa pianura friulana. Lo studio dei sondaggi CNC4, PNC1 e BLG1 e l'elaborazione delle loro stratigrafie permette di ottenere alcune informazioni importanti sulle facies sedimentarie degli ultimi 140.000 anni, che consentono di descrivere in modo più dettagliato l'evoluzione paleogeografia dell'area di studio.
I sondaggi CNC4, PNC1 e BLG1 formano un transetto W-E che comprende quasi tutta la bassa pianura friulana; la presenza di torbe in questi tre sondaggi, negli intervalli 38,56-36,21 m, 30,0-26,70 m e 34,50-32,50 m rispettivamente, mostra come la stasi deposizionale che caratterizza il Würm Medio sia un evento sincrono in tutta la bassa pianura friulana. La stasi deposizionale è dovuta probabilmente allo scarso apporto di sedimenti da monte, che è verosimilmente imputabile all'incisione degli alvei fluviali rispeto alla piana circostante. Questo dato è confermato dal confronto effettuato fra i sondaggi CNC4, PNC1 e BLG1 e alcuni pozzi eseguiti a scopo idrico, studiati e descritti da altri autori, oppure raccolti nel catasto dei pozzi della Regione Autonoma del Friuli Venezia Giulia. In questi pozzi sono presenti livelli torbosi che, verosimilmente, sono correlabili con le torbe incontrate nei carotaggi CNC4, PNC1 e BLG1 e che, probabilmente, risalgono al MIS 3. Le datazioni al radiocarbonio sul sondaggio di riferimento CNC4 e quelle ottenute sui sondaggi PNC1 e BLG1, effettuate al top degli intervalli torbosi, forniscono età calibrate che vanno da 30.000 a 40.000 anni cal BP, confermando così che l'accumulo dei livelli torbosi è avvenuta durante il Würm Medio, prima del LGM.
Dall'osservazione dei profili geofisici acquisiti sulla piattaforma adriatica è stato possibile riconoscere orizzonti di torbe che, verosimilmente, possono correlarsi alle torbe osservate nei sondaggi a terra.

Il riconoscimento dei depositi tirreniani nei sondaggi CNC4, PNC1 e BLG1 ha permesso di stimare il tasso di subsidenza della bassa pianura friulana. I valori ottenuti per i sondaggi (si vedano Tab. 8.2, 8.3 e 8.4) sono rispettivamente di 0,37 mm/anno, 0,41 mm/anno e 0,41 mm/anno. Le stime ottenute sui tassi di subsidenza sono da considerarsi quasi coincidenti fra loro. I valori così ottenuti sembrano coincidere con l'intervallo 0,30-0,45 mm/anno calcolato precedentemente da altri autori (Amorosi et al., 2008; Antonioli et al., 2009).
Dalla posizione dei sedimenti lagunari del MIS 5.5 nei carotaggi e considerando che la pendenza media della bassa pianura friulana è di 1‰,è stato possibile ipotizzare dove fosse posizionato il margine interno della laguna durante il highstand dell'ultimo interglaciale. Per i sondaggi PNC1 e BLG1 si ipotizza che il margine interno della laguna si trovasse rispettivamente a 11 e 13 km verso l'entroterra. Tuttavia, dato il rapido passaggio da ambienti di conoide alluvionale ad ambienti lagunari che caratterizza la pianura friulana, la pendenza varia anche di un valore considerevole in

pochi chilometri; quindi ci si limita ad affermare che il margine interno della laguna nel MIS 5.5 si trovava probabilmente spostato verso terra di un valore compreso fra i 5 e i 10 km.

Lo studio del sondaggio di Beligna (BLG1), che ha fornito una data di 31.150±200 anni cal BP su un campione di torba alla profondità di 28,78 m, ha reso possibile ipotizzare l'età dei rilievi morfologici di Belvedere e San Marco di Aquileia (UD). Da questo dato si ricava che il substrato su cui poggia la base delle dune di quest'area è rappresentato da depositi alluvionali della pianura, formatasi durante il periodo LGM. Di conseguenza è plausibile affermare che l'età di formazione delle dune sia riferibile alla fase finale del LGM stesso.
Secondo alcuni autori (Feruglio, 1925) le dune di Belvedere e San Marco rappresentano dei rilievi litorali connessi ad una paleolinea di riva più interna rispetto all'attuale margine lagunare. Questa interpretazione venne abbandonata in seguito agli studi geomorfologici e mineralogici svolti da Marocco (1991 b, 1994), che ipotizza tre possibili origini degli alti morfologici di Belvedere e San Marco. Una prima ipotesi riguarda la considerazione che alcuni rilievi o parte di essi siano di origine antropica, non verosimile in quanto l'età dei depositi, come dimostrato in questo lavoro, risale alla fase finale del LGM. Una seconda ipotesi, oggi considerata improbabile, è che i rilievi si trovino attualmente rialzati a causa di un sollevamento recente dell'area.
Un'altra possibilità sulla formazione delle dune è una genesi di tipo fluviale; quest'ultima è confermata dalle analisi mineralogiche svolte su campioni di sabbia prelevati dalle dune e che sembrerebbe legare questi depositi ai sedimenti alluvionali del paleoIsonzo.
L'ipotesi che vede le dune di Belvedere e San Marco legate ad una genesi fluviale è verosimile se si ipotizza un forte contributo eolico durante la deposizione dei sedimenti, come sembrerebbe dimostrare l'andamento non costante delle dune stesse e la forte clinostratificazione dei depositi evidenziata da alcuni scavi (vedi Fig. 3.16)

Le prospettive future per sviluppare ulteriormente questo lavoro riguardano l'integrazione dei dati attualmente disponibili con le informazioni provenienti dalle analisi micropaleontologiche e macropaleontologiche dei carotaggi BLG1 e PNC1, attualmente in elaborazione, che dovrebbero fornire importanti dati sulla batimetria e i paleoambienti deposizionali durante il MIS 5.
E' inoltre auspicabile che vengano condotte anche delle analisi polliniche sui campioni provenienti dalle unità stratigrafiche profonde, in modo da ottenere informazioni sulla copertura forestale e soprattutto dei vincoli biostratigrafici per affinare le correlazioni proposte in questa tesi.
Infine, nel quadro della valutazione della subsidenza tettonica che è stata ed è attiva nella zona studiata, sarà significativo confrontare i valori medi calcolati dall'ultimo interglaciale ad oggi (valutati in questa tesi) con quelli riguardanti l'Olocene. Questi ultimi sono ottenibili comparando la quota assoluta a cui ora si trovano i depositi

lagunari olocenici, datati in modo preciso, con la loro originaria quota di deposizione, stimata tramite il modello geofisico di Lambeck. Tale metodologia è stata già efficacemente usata in altre zone costiere dell'Italia nord-orientale (cfr Amorosi et al., 2008; Antonioli et al., 2009). Si potrà così evidenziare se la velocità di subsidenza attuale rispecchi quella calcolata sul lungo termine, o se vi siano eventuali accelerazioni o decelerazioni.

12 Bibliografia

AMATO A., BARNABA P. F., FINETTI I., GROPPI G., MARTINIS. B. & MUZZIN A., 1976 – Geodinamic outline and seismicity of Friuli Venetia Giulia Region. Boll. Geof. Teor. Appl. Trieste. 19, 217-256.

AMOROSI A., COLALONGO ML., FIORINI F., FUSCO F., PASINI G., VAIANI SC. & SARTI G.,2004 – Paleogeographic and paleoclimaticevolution of the Po Plain from 150-ky core records. Global Planet Change. 40 :55-78.

AMOROSI A., FONTANA A., ANTONIOLI F., PRIMON S. & BONDESAN A., 2008 – Post-LGM sedimentation and Holocene shoreline evolution in the NW Adriatic Coastal area. GeoActa. Bologna. 7, 41-64 pp.

ANTONINE P., ROUSSEAU DD., ZOLLER L., LANG A., MUNAUT AV., HATTÈ C. & FONTUGNE M., 2001 – High-resolution record of the last Interglacial-glacial cycle in the Nussloch loess-palaeosol sequences, Upper Rhine Area. Quat. Int. 76-77, 221-229.

ANTONIOLI F., BARD E., POTTER E.K.,SILENZI S. & IMPROTA S., 2004 - 215-ka History of sea level oscillations from marine and continental layer inArgentarola Cave's speleothems (Italy). Global and PlanetaryChange, 43, 57-78.

ANTONIOLI F., FERRANTI L., FONTANA A., AMOROSI A., BONDESAN A., BRAITENBERG C., FONTOLAN G., FURLANI S., MASTRONUZZI G., MONACO C., SPADA G. & STOCCHI P., 2009 - Holocene relative sea-level changesand vertical movements along the Italian and Istrian coastlines.Quaternary International, 206, 101-133.

AVIGLIANO R., CALDERONI G., MONEGATO G. & MOZZI P., 2002a – The late Pleistocene-Holocene evolution of the Cellina and Medunaalluvional fans. Mem. Soc. Geol. It. 57, 133-139 pp.

AVIGLIANO R., MONEGATO G., ZANOLLA S., MICHELUTTI G. & MOZZI P., 2002b – Confronto tra informazioni geologiche e pedologiche sul conoide di Cellina (Friuli, Italia). Il Quaternario. 15, 99-104 pp.

ARPAV, 2008 – Carta dei suoli del Veneto, scala 1:250.000. ARPAV, Osservatorio Regionale Suolo, Castelfranco, Veneto.

BARNABA P. F.,1990 – Considerazioni geologiche sul sottosuolo e sulle risorse idrotermali sella zona di Latisana-Foce del Tagliamento. Mem Sc. Geol. Univ. Padova, 42, 343-359 pp.

BAVEC M., TULAXZYK SM., MAHAN SA., & STOCK GM., 2004 – Late Quaternary glaciations of the Upper Soča River Region (Southern Julian Alps, NW Slovenia). Sed. Geol. 165, 265 – 283.

BLUM M.D. & TORNQVIST T.E., 2000 – Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. Sedimentology, 47. Suppl. 1, 2-48.

BONDESAN A., CALDERONI G. & MOZZI P., 2002a – L'assetto geomorfologico della pianura veneta centro orientale: stato delle conoscenze. In: ZUNIGA M. & VAROTTO M., Scritti in ricordo di Giovanna Brunetta. Dip. Geografia,Padova, 19-38.

BONDESAN A., MOZZI P., PRIMON S. & ZAMBONI C., 2002b – Antiche acque e antiche genti: l'indagine geomorfologica tra passato e presente. In GHEDINI F., BONDESAN A. & BUSANA M.S. (a cura di) – La tenuta di Ca'Tron, ambiente e storia nella terra dei dogi. Cierre, Sommacamagna, 16-68.

BONDESAN A., BERTANI B., FONTANA A., FURLANETTO P. & PRIMON S.,2002c – Carta della fotointerpretazione e dei siti archeologici della Provincia di Venezia tra I fiumi Livenza e Tagliamento. Cd-rom, Magistratodelleacque, Venezia.

BONDESAN A., FONTANA A., MOZZI P., PRIMON S., BASSAN V. & VITTURI A., 2011 – Geologia.In VITTURI A. (a cura di)Atlante geologico della provincia di Venezia Note Illustrative. Provincia di Venezia, 333-366 pp.

BULL J. M., QUINN R. & DIX J. K., 1998 – Reflection Coefficiente Calculation from Marine High Resolution Seismic Reflection (Chirp) Data and Application to an Archaeological Case Study. Marine Geophysical Researches. 20, 1-11 pp.

CATI A., SARTORIO D. & VENTURINI S., 1987 – Carbonate platforms in the subsurface of the Adriatic area. Mm Soc. Geol. It. Roma, 40, 295-308 pp.

CASTIGLIONI G. B.., 2004 – Quaternary glaciations in the eastern sector of the Italian Alps. Developments in Quaternary Science. Volume 2, 209-214.

CHALINE J. & JERZ H.,1984–Arbeitsergebnisse der Subkommission für Europäische Quartarstratigraphie. StratotypendesWurm-Glazials. Eiszeitalter und Gegenwart, 35, 185-206.

CIMOLINO A., DELLA VEDOVA B., NICOLICH R., BARISON E. & BRANCATELLI G., 2010 – New evidence of the outer Dinaric deformation front in the Grado area (NE-Italy). Rend. Fis. Acc. Lincei. 13 pp.

CLARK P., DYKE A., SHAKUN J., CLARSON A., CLARK J., WOHLFARTH B., MITROVICA J., HOSTETLER S. & MCCABE A., 2009 – The Last Glacial Maximum. Science. 325: 710-714.

COMEL A., 1958 – I terreni della zona inferiore della bassa pianura friulana. Nuovi Studi Staz. Chim.-Agraria Sperim. Di Udine. Udine. 18, 81 pp.

CORREGGIARI A., FIELD M., & TRINCARDI F., 1996 – Late Quaternary trasgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf. In: DE BATIST . & JACOBS P. (eds) – Geology of Siliciclastic Shelf Seas. Geol. Soc. Spec. Pub. 117, 155-169.

COSSAR F. (a cura di) - 2008 Aquileia communitas. Comune di Aquileia 130 pp.

CREMASCHI M. & RODOLFI G., 1987 – Il suolo. Carocci, Roma.

CREMASCHI M., 1990 – Pedogenesi medio Olocenica ed uso dei suoli durante il Neolitico in Italia settentrionale. In BIAGI P. (Ed), The Neolithisation of the Alpine Region. Monog. di Natura Bresciana. Brescia 13, 71 – 79 pp.

CROCE DA VILLA P & DI FILIPPO BALESTRAZZI E.,2001 – Concordia Sagittaria. Tremila anni di storia. Esedra, Padova. 393 pp.

DONNICI S.& SERANDREI BARBERO R., 2004 – Paleogeografia e cronologia dei sedimenti tardopleistonici ed olocenici presenti nel sottosuolo di Valle Averto (Laguna di Venezia, bacino centrale). Lavori della Società veneziana diStoria naturale, 29, 101-108.

DRYSDALE RN., HELLSTROM JC., ZANCHETTA G., FILLICK AE., SANCHEZ-GONI F., COUCHOUD I., MCDONALD J., MASS R., LOHMANN G. & ISOLA I., 2009 – Evidence for obliquity forcing of glacial termination II. Science. 325, 1527 – 1531.

DUTTON A., BARD E., ANTONIOLI F., ESATT M., LAMBECK K & MCCULLOCH T., 2009 – Phasing and amplitude of sea-level and climat echange during the penultimate interglacial. Nature Geoscience. 2, 355-359.

FERRANTI L., ANTONIOLI F., MAUZ B., AMOROSI A., DAI PRA G., MASTRONUZZI G., MONACO C., ORRÙ P., PAPPALARDO M., RADTKE U., RENDA P., ROMANO P., SANSÒ P. & VERRUBBI V., 2006 - Markers of the last interglacial sealeve lhighstand along the coast of Italy: tectonic implications. Quaternary International, 145-146,30-54.

FERUGLIO E., 1925 – La zona delle risorgive del basso Friuli tra Tagliamento e Torre. Annali Staz. Chim. Agr. Sperim. Udine. Serie III, 1, 347 pp. 1 carta scala 1:100.000.

FERUGLIO E., 1936 – Sedimenti marini nel sottosuolo della bassa pianura friulana. Boll. Soc.Geol. It. Vol55, 129-138.

FONTANA A., 2006 – Evoluzione geomorfologica della bassa pianura friulana e le sue relazioni con le dinamiche insediative antiche. Edizione del museo friulano di storia naturale. Pubblicazione n. 47, 287.

FONTANA A., MOZZI P., & BONDESAN A., 2004 – L'evoluzione geomorfologica della pianura veneto-friulana. In Bondesan A. & Meneghel M. (a cura di), Geomorfologia della provincia di Venezia, Esedra, Padova, 113-138.

FONTANA A., MOZZI P., & BONDESAN A., 2008 – Alluvional megafans in the Veneto-Friuli Plain: evidence of aggrading and erosive phases during Late Pleistocene and Holocene. Quaternary International. 189, 71-90 pp.

FONTANA A., MOZZI P., & BONDESAN A., 2010 – Late Pleistocene evolution of the Venetian-Friulian Plain (NE Italy). Rendiconti Lincei, 21, Suppl. 1, 1-16.

FONTANA A., BONDESAN A., MENEGHEL M., TOFFOLETTO F., VITTURI A. & BASSAN V.,2012 – Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 -Foglio 107 "Portogruaro". ISPRA.

GALADINI F., POLI M. E. & ZANFERRARI A., 2005 – Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with M≥6 in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy). Geoph. J. Int., Oxford. 161, 739-762 pp.

KENT D.V., RIO D., MASSARI F., KUKLA G. & LANCI L., 2002 - Emergence of Venice during the Pleistocene. Quaternary Science Reviews, 21, 1719–1727.

LAMBECK K., ANTONIOLI F., PURCELL A. & SILENZI S., (2004) - Sea level change along the Italian coast for the past 10,000 yrs. Quaternary Science Review 23, 1567-1598.

LENARDON G., MAROCCO R. & PUGLIESE N.,2000 – L'aggradazione Tardiglaciale-Olocenica della pianura di Portogruaro (Italia Settentrionale). Studi Trentini Scienze Naturali - Acta Geologica. 77, 127-138 pp.

MAROCCO R., 1988 – Considerazioni sedimentologiche sui sondaggi S19 e S20 (Delta del Fiume Tagliamento). Gortania – Atti Mus. Friul. St. Nat. 10, 101-120 pp.

MAROCCO R., 1989 – Evoluzione quaternaria della Laguna di Marano (Friuli Venezia Giulia). Il Quaternario. 2, 125-137 pp.

MAROCCO R., 1991a – Evoluzione tardopleistocenica- olocenica del Delta del F. Tagliamento e delle lagune di Marano e Grado (Glofo di Trieste). Il Quaternario. 4, 223-232 pp.

MAROCCO R., 1991b – Le dune di Belvedere-San Marco. Una antica linea di riva? 1) Considerazioni geomorfologiche. Gortania- Atti Mus. Friul. St. Nat. 13, 57-76 pp.

MAROCCO R., 1994 – Le dune di Belvedere-San Marco. Una antica linea di riva? 2) Considerazioni sedimentologiche. Gortania- Atti Mus. Friul. St. Nat. 16, 5-24.

MARTINIS B., 1953 - Le formazioni quaternarie del sottosuolo di Grado (Gorizia). Riv. It. Pal.e Strat., 59 (1): 3-32.

MARTINIS B., 1957 – Osservazioni stratigrafiche sul sottosuolo di Lignano (Udine). Riv. It. Pal. E Strat., 63: 159-178,Milano.

MARTINSON D. G., PISIAS. N. G., HAYS J. D., IMBRIE J., MOORE T. C. & SHACKLETON N. J., 1987 – Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300000-year chronostratigraphy. Quaternary Research. 27, 1-29 pp.

MASSARI F., RIO D., SERANDREIBARBERO R., ASIOLI A., CAPRARO L., FORNACIARI E. & VERGERIO P., 2004 - The environment of Venice area in the pasttwo million years. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 202, 273-308.

MERLINI S., DOGLIONI C., FANTONI R. & PONTON M., 2002 – Analisi strutturale lungo un profilo geologico tra la linea Fella Sava e l'avanpaese adriatico (Friuli Venezia Giulia, Italia). MemSoc. GeolIt. Roma, 57, 273-300 pp.

MIOLA A., ALBANESE D., VALENTINI G & CORAIN L., 2003 – Pollen data for a biostratigraphy of LGM in the Venetian Po Plain. Il Quaternario. 16, 21-26 pp.

MIOLA A., BONDESAN A., CORAIN L., FAVARETTO S., MOZZI P., PIOVAN S. & SOSTIZZO I., 2006 – Wetlands in the Venetian Po Plain (north-eastern Italy) during the Last Glacial Maximum: vegetation, Hydrology, sedimentary environments. Review of Palaeobotany and Palynology. 141, 53-81 pp.

MONEGATO G., RAVAZZI C., DONEGANA M., PINI R., CALDERONI G. & WICK L.,2007 – Evidence of a two-fold glacial advance during the last glacial maximum in the Tagliamento end moraine system (easthern Alps). Quat Res. 68, 284 – 302.

MÜLLENDERS W., FACERO V., COREMANS M. & DIRICK M.,1996 – Analyses polliniques des sondages à Venise (VE1, VE1bis, VE2). Aardkundige Mededelingen. 7, 87 – 117.

OROMBELLI G., RAVAZZI C. & CITA M.B., 2005 - Osservazioni sul significato dei termini LGM (UMG), tardoglaciale e postglaciale in ambito globale,italiano ed alpino. Il Quaternario, 18 (2) 147-156.

PERUZZA L., POLI M. E., REBEZ G., ROGLEDI S., SLEJKO D., & ZANFERRARI A., 2002 – The 1976-1977 seismic sequence in Friuli: new seismotectonic aspects. Mem Soc. Geol It. 57, 391-400 pp.

PERUZZA L., 2012 – Sismicità e aspetti normativi. In Fontana A., Bondesan A., Meneghel M., Toffoletto F., Vitturi A. & Bassan V. (a cura di) Note Illustrative Carta Geologica d'Italia, Foglio 107 Portogruaro, 135-138.

PINI R., RAVAZZI C. & DONEGANA M., 2009 – Pollen stratigaphy, vegetation and climate history of the last 215 ka in the Azzano Decimo core (plain of Friuli, north-easthern Italy). QuatSci Rev. 28, 1268-1290.

POLI M. E., PERUZZA L., REBEZ A., RENNER G., SLEJKO D. & ZANFERRARI A., 2002 – New seismotectonic evidence from the analisis of the 1976-1977 and 1977-1999 seismicity in Friuli (NE Italy). Boll. Geof. Teor. Appl., Trieste. 43, 54-78 pp.

QUINN R., BULL J. M. & DIX J. K., 1998 - Optimal Processing of Marine High-Resolution Seismic Reflection (Chirp) Data. Marine Geophysical Researches, 20, 1, 13-20.

REIMER, P.J., BAILLIE, M.G.L., BARD, E., BAYLISS, A., BECK J.W., BERTRAND C.J.H., BLACKWELL P.G. & BUCK C.E., 2004 – Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0-26 Cal Kyr BP. Radiocarbon. 46, 1029-1058 pp.

ROSSATO S., 2009 – Geomorfologia dell'Alto Adriatico: il contributo della missione oceanografica SonRISA 09. Quaderno di dottorato. 4, 7 pp.

SANESI G., 1977 – Guida alla descrizione del Suolo. CNR, Firenze

SCHELLMANN G., BEERTEN K. & RADTKE U., 2008 - Electron spin resonance (ESR) dating of Quaternary materials. Eiszeitalter und Gegenwart - Quaternary Science Journal, 57, 1, 150-178.

SHACKLETON NJ., SANCHEZ-GONI Mf., PAILLER D . & LANCELOT Y., 2003 – Marine Isotope Substage 5e and the Eemian Interglacial. Global Planet Change. 36, 151-155.

SIRIONI M. B. C., CAPOTONDI L. & ASIOLI A., 2005 – The Tyrrhenian stage in the Mediterranean: definition, usage and recognition in the deep-sea record. A proposal. Rend. Fis. Acc. Lincei. 16, 297-310.

STEFANINI S. & CUCCHI F., 1977 – Le ghiaie del sottosuolo della pianura veneta a oriente del F. Piave. Quad. Istit. Ricerca sulle Acque. 33, 67-78 pp.

STEFANINI S. & CUCCHI F., 1978 – Gli acquiferi nel sottosuolo della provincia di Udine. Quad. Istit. Ricerca sulle Acque. 34, 131-146 pp.

STUIVER M. & POLACH H. A., 1977 – Radiocarbon. Vol. 19, N. 3, 355-363 pp.

TARQUINI S., ISOLA I., FAVALLI M., MAZZARINI F., BISSON M., PARESCHI M.T. & BOSCHI E. 2007 - TINITALY/01: a new Triangular Irregular Network of Italy, Annals of Geophysics 50, 407-425.

TOSI L., TEATINI P., CARBOGNIN L. &FRANKENFIELD J., 2007a - A new project to monitor landsubsidence in the northern Venice coastland (Italy). Environmental Geology 52(5): 889–898.

TOSI L., RIZZETTO F., BONARDI M., DONNICIS., SERANDREI BARBERO R. & TOFFOLETTO F., 2007b - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala1:50.000, Foglio 128 "Venezia". APAT, Dip. Difesa delSuolo, Servizio Geologico d'Italia, SystemCart, Roma,164 pp., 2 mappe.

TRINCARDI F., ARGNANI A. & CORREGGIARI A. - 2011. Note illustrative della Carta Geologica dei Mari Italiani alla scala 1:250.000 – Foglio NL 33-7 Venezia.S.EL.CA., Firenze, 151 pp.

VAI G. B., VENTURINI C., CARULLI G. B. & ZANFERRARI A., 2002 – Alpi e Prealpi Carniche e Giulie, Friuli Venezia Giulia. Guide GeologicheRegionali, 387 pp.

VENZO S., CARRARO F.& PETRUCCI F., 1977– I depositi quaternari e del Neogene superiore nella bassa valle del Piave da Quero al Montello e del Paleo-Piave nella valle del Soligo. Mem Ist Geol Min Univ Padova. 30, 1 – 63.

WIENBERG C., DANNENBERG J. & HEBBELN D., 2004 - The fate of dumped sediments monitored by a high-resolution multibeam echosounder system, Weser Estuary, German Bight, Geo-Marine Letters, 24, 22-31.

ZANFERRARI A et al., 2005 – Carta Geologica d'Italia, Foglio 066 "Udine", scala 1:50000. APAT, Regione Friuli Venezia Giulia. 1° foglio e note illustrative.

ZANFERRANI A., BOLLETTINARI G., CAROBENE L., CARTON A., CARULLI G. B., PIANETTI F & SAURO U., 1982 – Evoluzione neo tettonica dell'Italia Nord-orientale. Mem. Di Sc Geol. Univ. Padova, 35, 353-376 pp.

ZANFERRARI A., AVIGLIANO R., MONEGATO G., PAIERO G. & POLI M. E., 2008a – Note illustrative della Carta Geologia d'Italia alla scala 1:50000, Foglio 066 "Udine" Graphic Linea, Tavagnacco, Udine, 176 pp.

ZANFERRARI A., AVIGLIANO R., GRANDESSOMONEGATO G., PAIERO G., POLI M. E. & STEFANI C., 2008b – Note illustrative della Carta Geologia d'Italia alla scala 1:50000, Foglio 065 "Maniago". Graphic Linea, Tavagnacco, Udine, 224pp.

ZANFERRARI A., AVIGLIANO R., FONTANA A. & PAIERO G., 2008c - – Note illustrative della Carta Geologia d'Italia alla scala 1:50000, Foglio 087 "San Vito al Tagliamento". Graphic Linea, Tavagnacco, Udine, 178 pp.

ZANFERRARI A., 2012 – Inquadramento geologico e lineamenti strutturali. In Fontana A., Bondesan A., Meneghel M., Toffoletto F., Vitturi A., Bassan V. (a cura di) Note Illustrative Carta Geologica d'Italia, Foglio 107 Portogruaro, 35-47.

ZHOU X. & CHEN Y., 2004 – Seafloor sediement classification based on multibeam sonar data. GeoSpatial Information Science. 7, 290-296 pp.

Ringraziamenti

In questi ultimi due anni di università ho incontrato molte persone che mi hanno aiutato e mi sono state vicine nella vita di tutti i giorni.
Sperando di non dimenticare nessuno, vorrei ringraziare tutte queste persone.

Grazie al mio relatore Dott. Alessandro Fontana che mi ha seguito ed aiutato in questi mesi di lavoro e che ha avuto fiducia in me.

Grazie a tutte le persone che ho incontrato nell'ultimo anno e che mi hanno insegnato moltissime cose nuove.

Grazie a Davide, Francesco, Alice, Livia, Giacomo e tutti gli altri per le belle serate passate insieme.

Grazie ai miei compagni di corso con i quali ho vissuto moltissime avventure.

Grazie a Flavio per tutte le fotocopie che in questi anni mi ha fatto.

Grazie a Gianmario che con l'inglese mi ha sempre aiutato.

Grazie alla Sara e alla Daniela per i lavoretti svolti negli ultimi giorni.

Grazie a Padre Maurizio, Padre Claudio e Padre Andreas immancabili colonne della comunità di Cendon.

Grazie alla Nico, Angela, Dario, Ale e Davide che durante le riunioni degli animatori del gruppo giovani mi sono sempre stati accanto.

Gracie al Ciccio per la sua costante presenza.

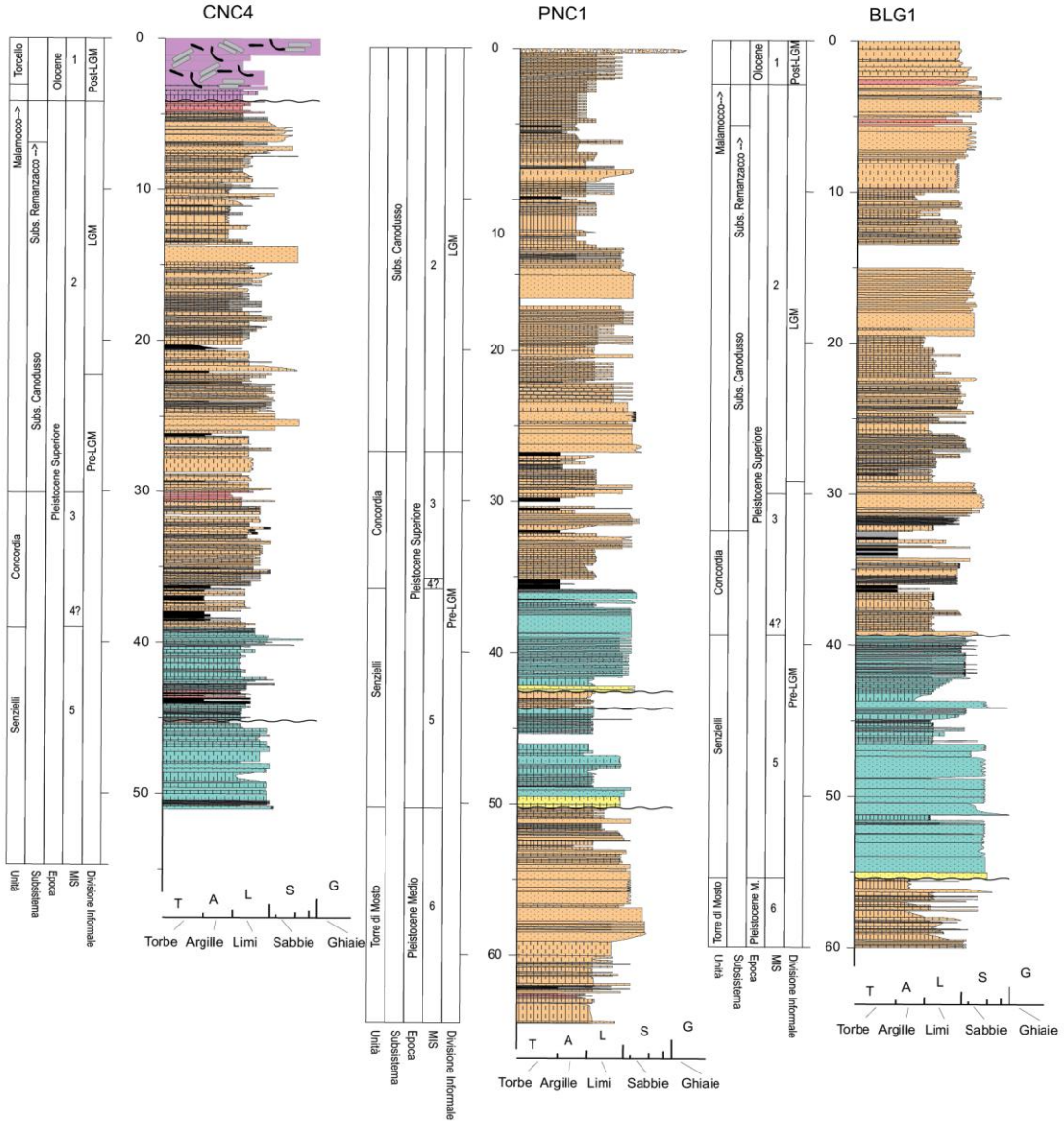
Grazie al Killer per i momenti di svago passati insieme.

Grazie a tutti gli amici per le belle partite a calcetto giocate nelle domeniche pomeriggio.

Infine un GRAZIE speciale ai miei genitori che in tutto il mio cammino mi sono stati vicini e mi hanno sempre sostenuto nelle mie scelte, un grazie anche al mio Juonior sempre fedele.

Allegato 1 (correlazioni facies e correlazioni cronostratigrafiche)

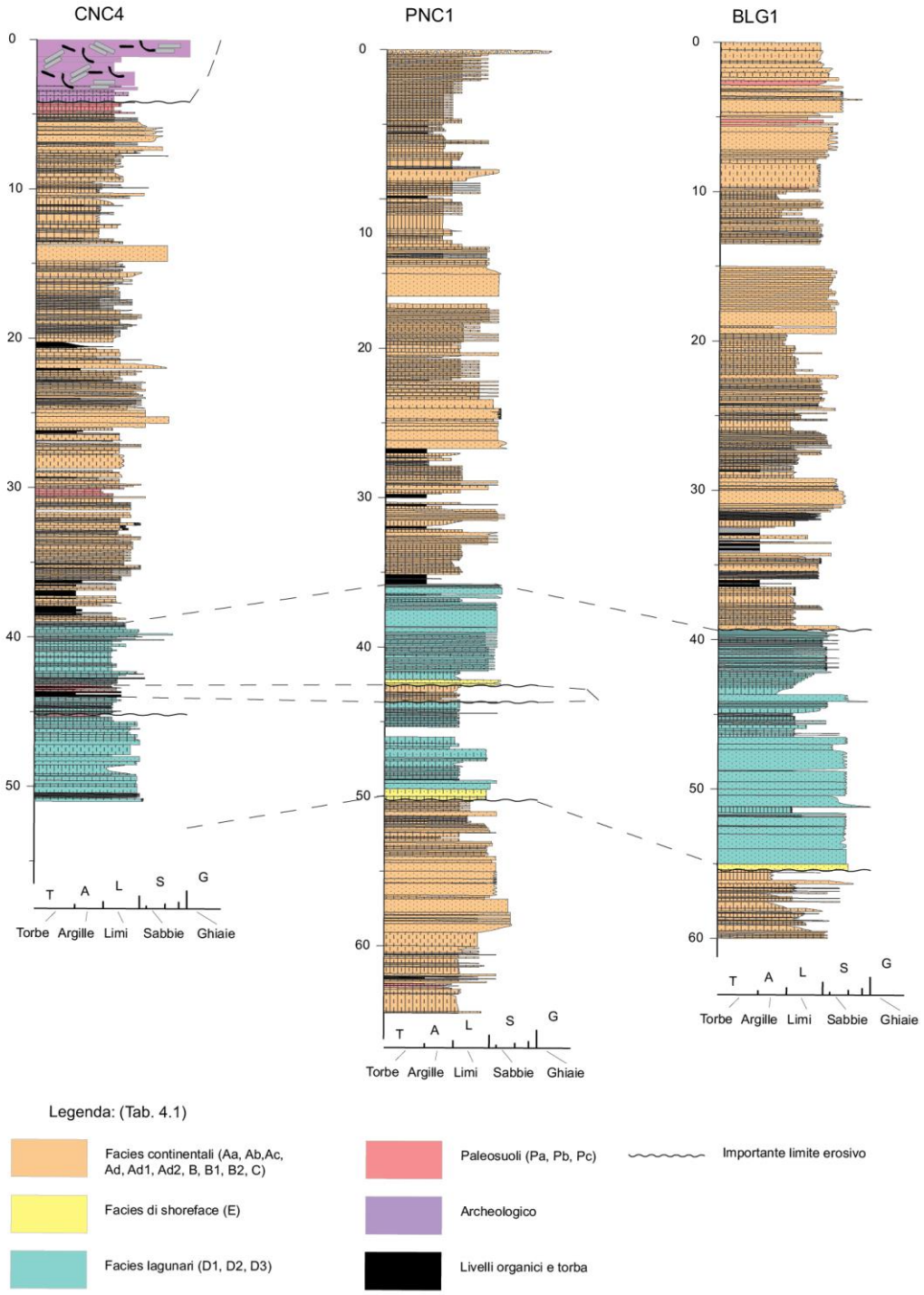
Associazione di facies nei carotaggi CNC4, PNC1 e BLG1



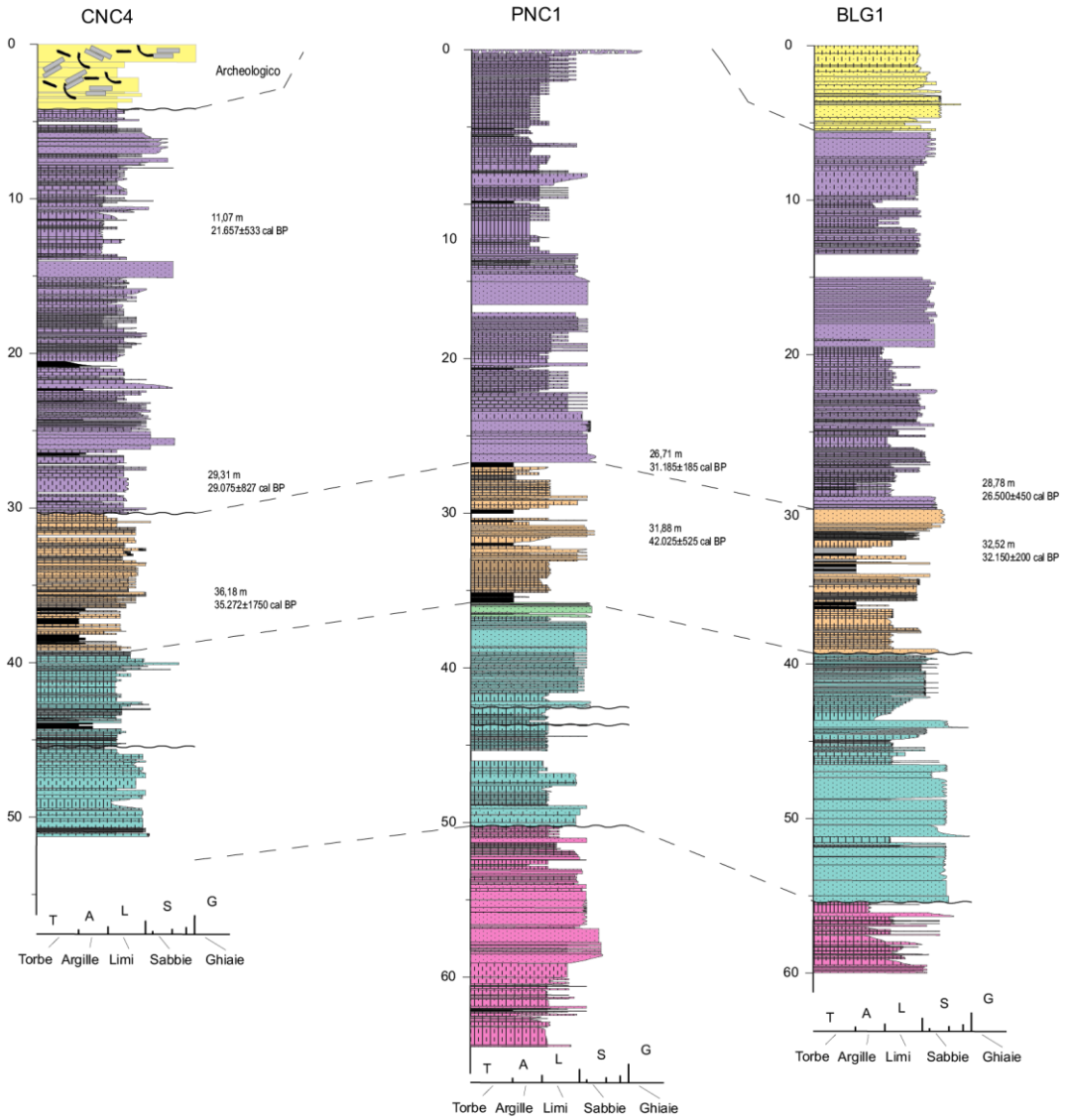
Legenda: (Tab. 4.1)

- Facies continentali (Aa, Ab,Ac, Ad, Ad1, Ad2, B, B1, B2, C)
- Facies di shoreface (E)
- Facies lagunari (D1, D2, D3)
- Paleosuoli (Pa, Pb, Pc)
- Archeologico
- Livelli organici e torba
- Importante limite erosivo

Associazione di facies nei carotaggi CNC4, PNC1 e BLG1



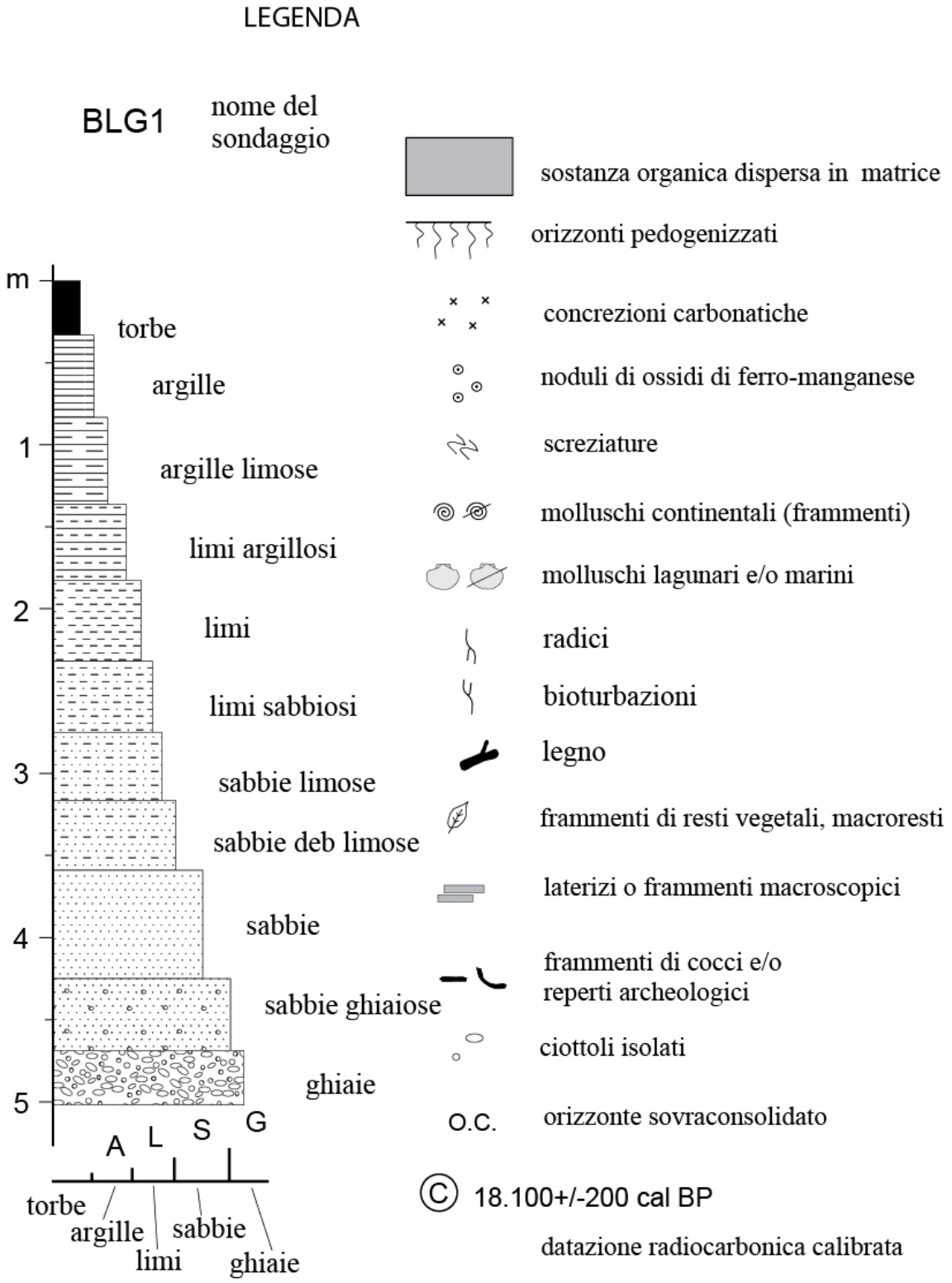
Correlazione cronostratigrafica dei carotaggi CNC4, PNC1 e BLG1



Legenda:

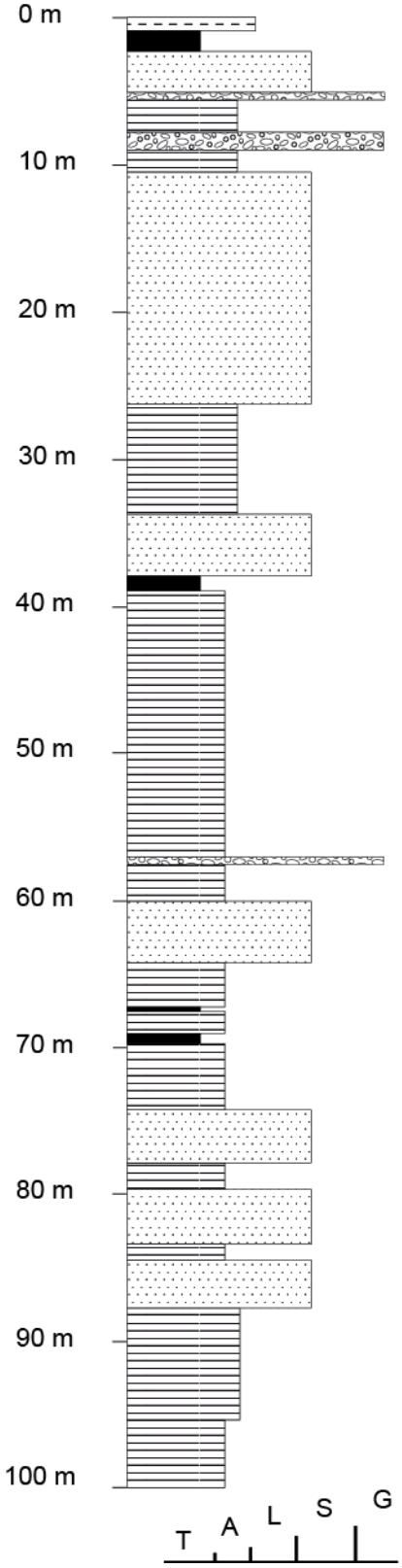
- Penultima Glaciaizione MIS 6
- Ultimo interglaciale MIS 5.5
- Wurm Inferione (da MIS 5.4 a MIS 5.1)
- Wurm Medio (MIS 4 e 3)
- LGM
- Olocene
- Livelli organici e torba
- Importante limite erosivo

Allegato 2 (legenda log stratigrafici)

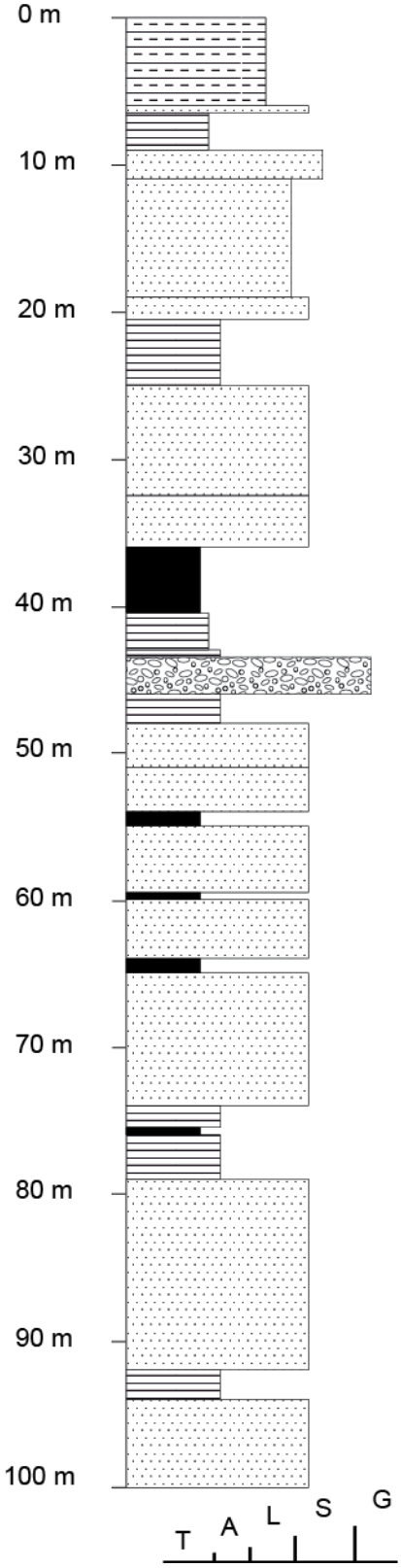


Allegato 3 (sezioni stratigrafiche pozzi)

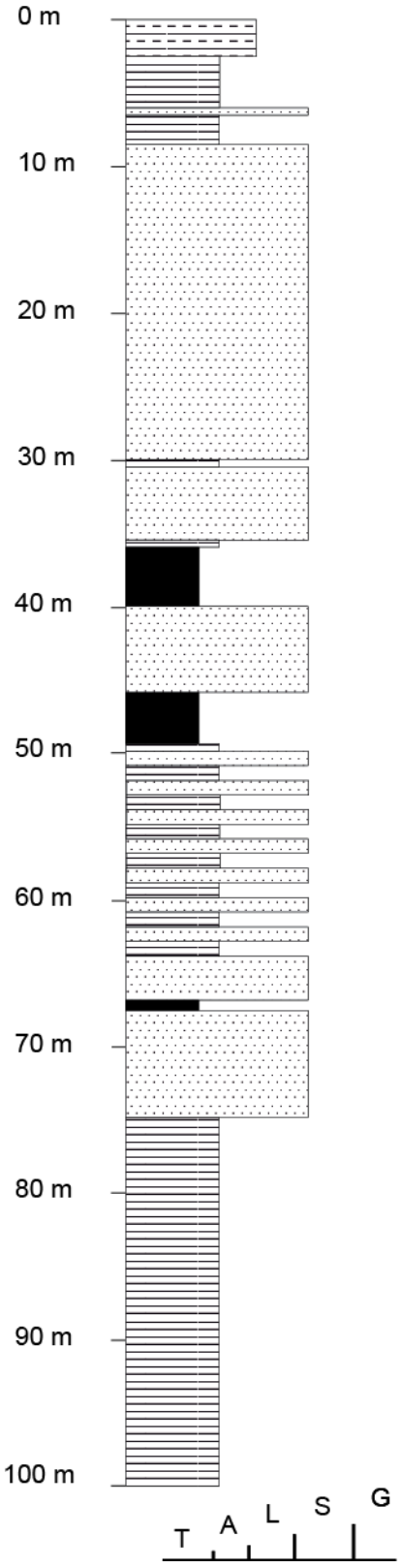
Pozzo Piazza Duca d'Aosta (Martinis, 1953)



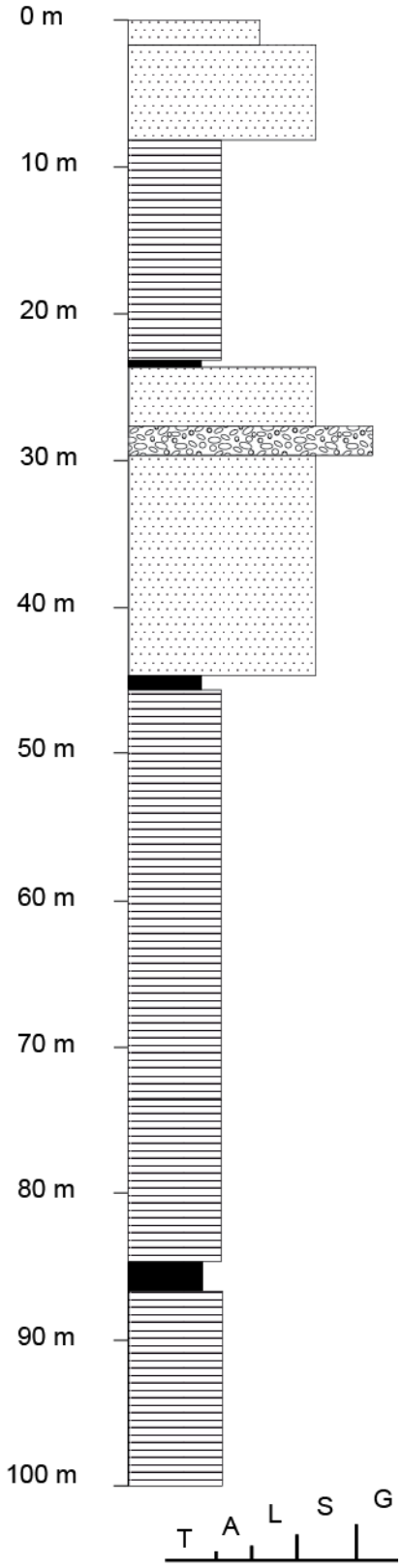
Pozzo presso l'Ospedale (Martinis, 1953)



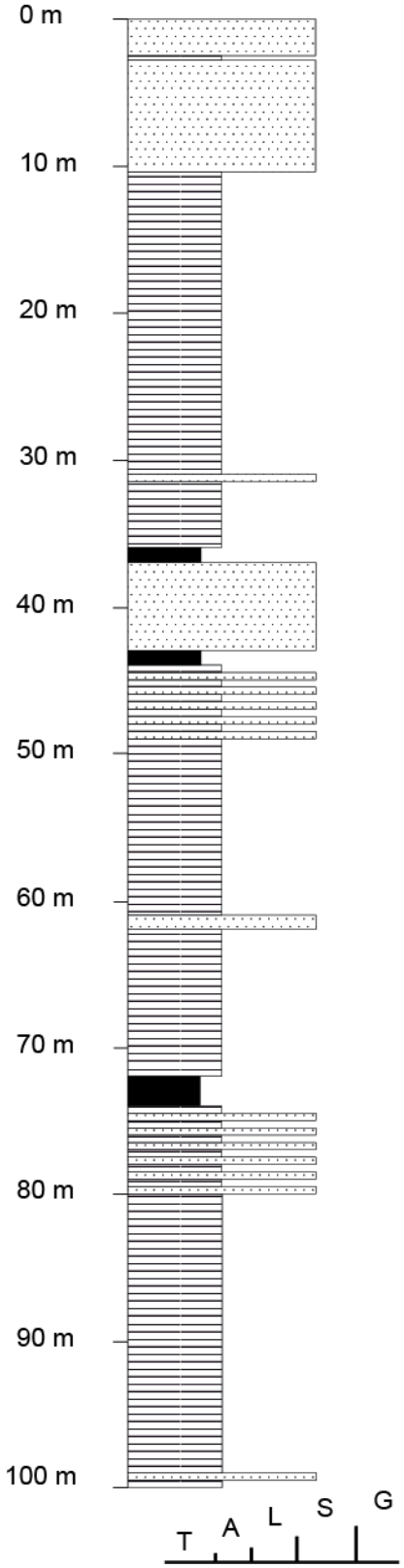
Pozzo Arrigoni (Martinis, 1953)



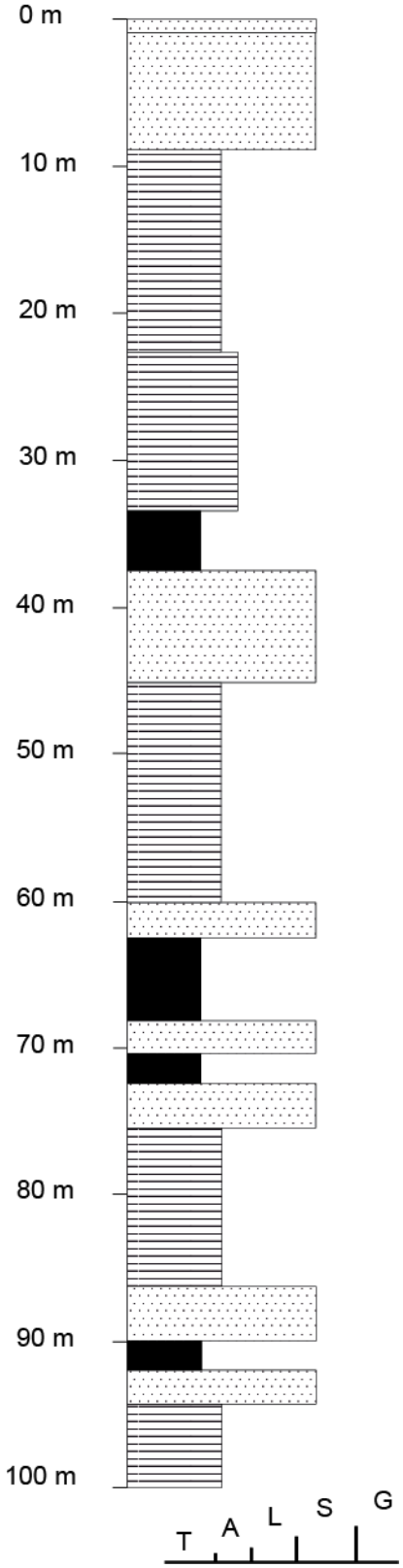
Pozzo del Parco (Martinis, 1953)



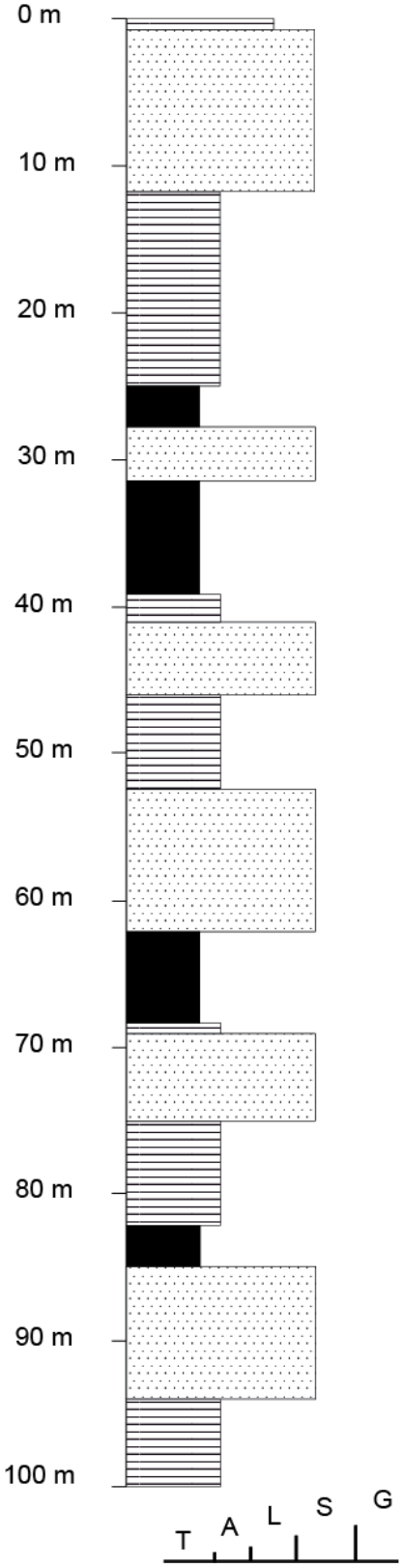
Pozzo Pineta Rotta (Martinis, 1953)



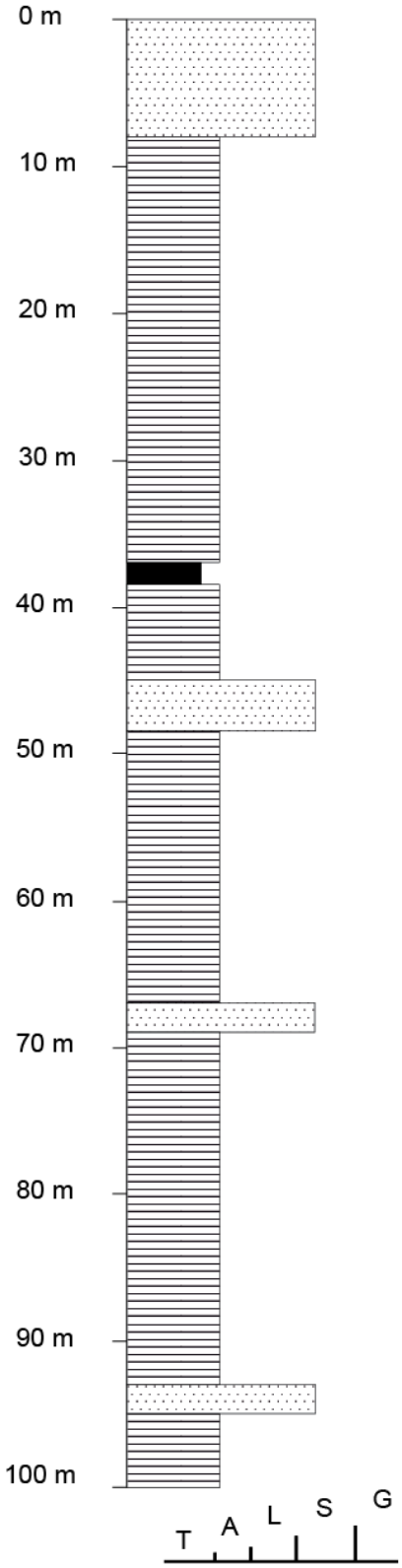
Pozzo Squero (Martinis, 1953)



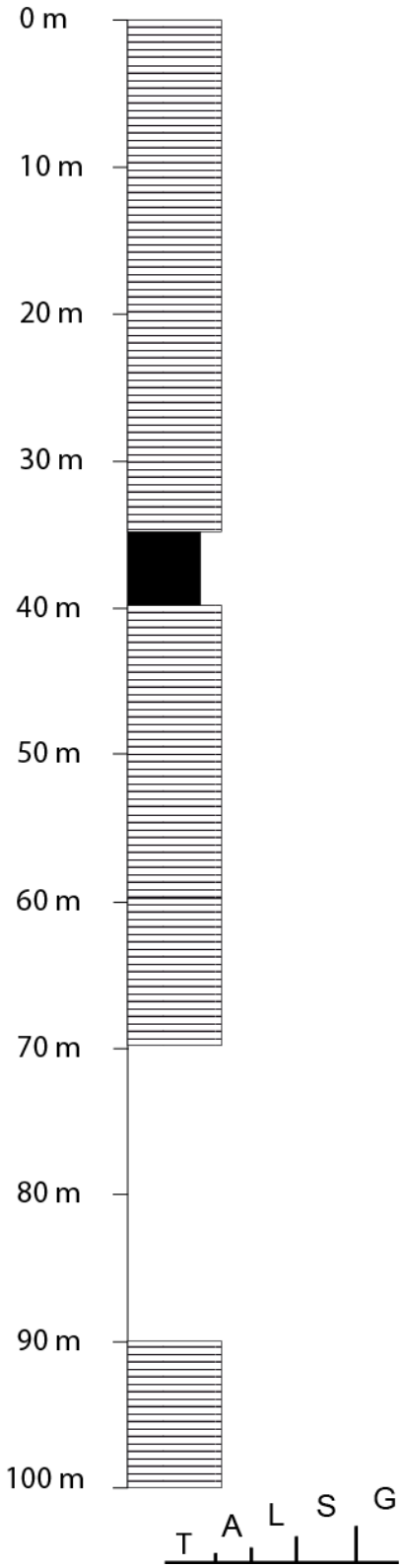
Pozzo Quartiere Popolare (Martinis, 1953)



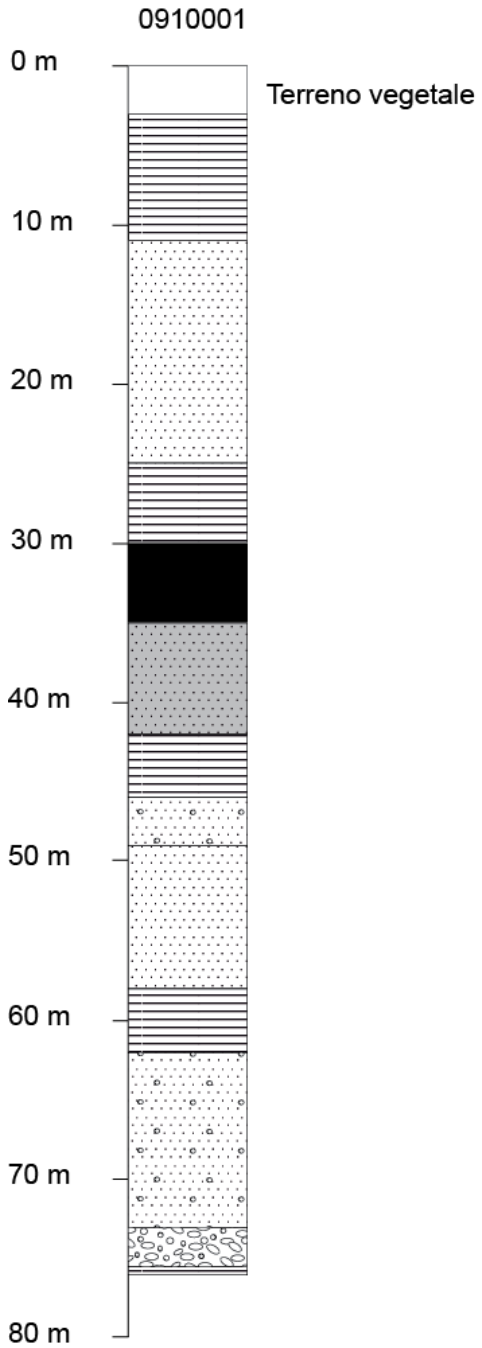
Pozzo Lignano (Martinis, 1957)

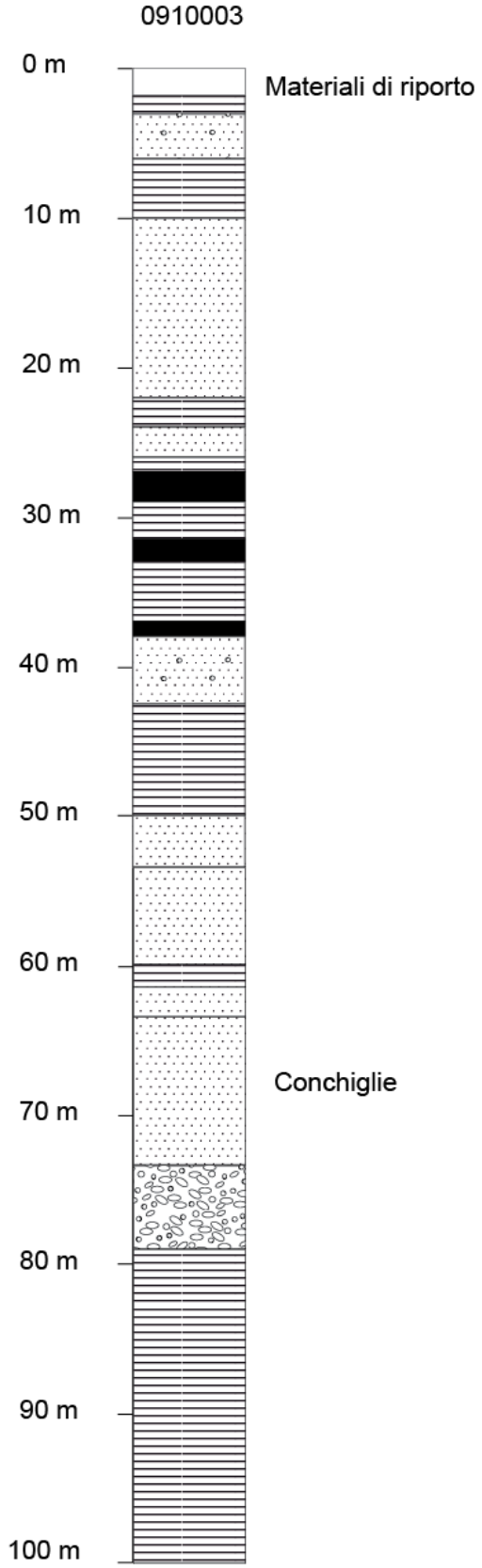


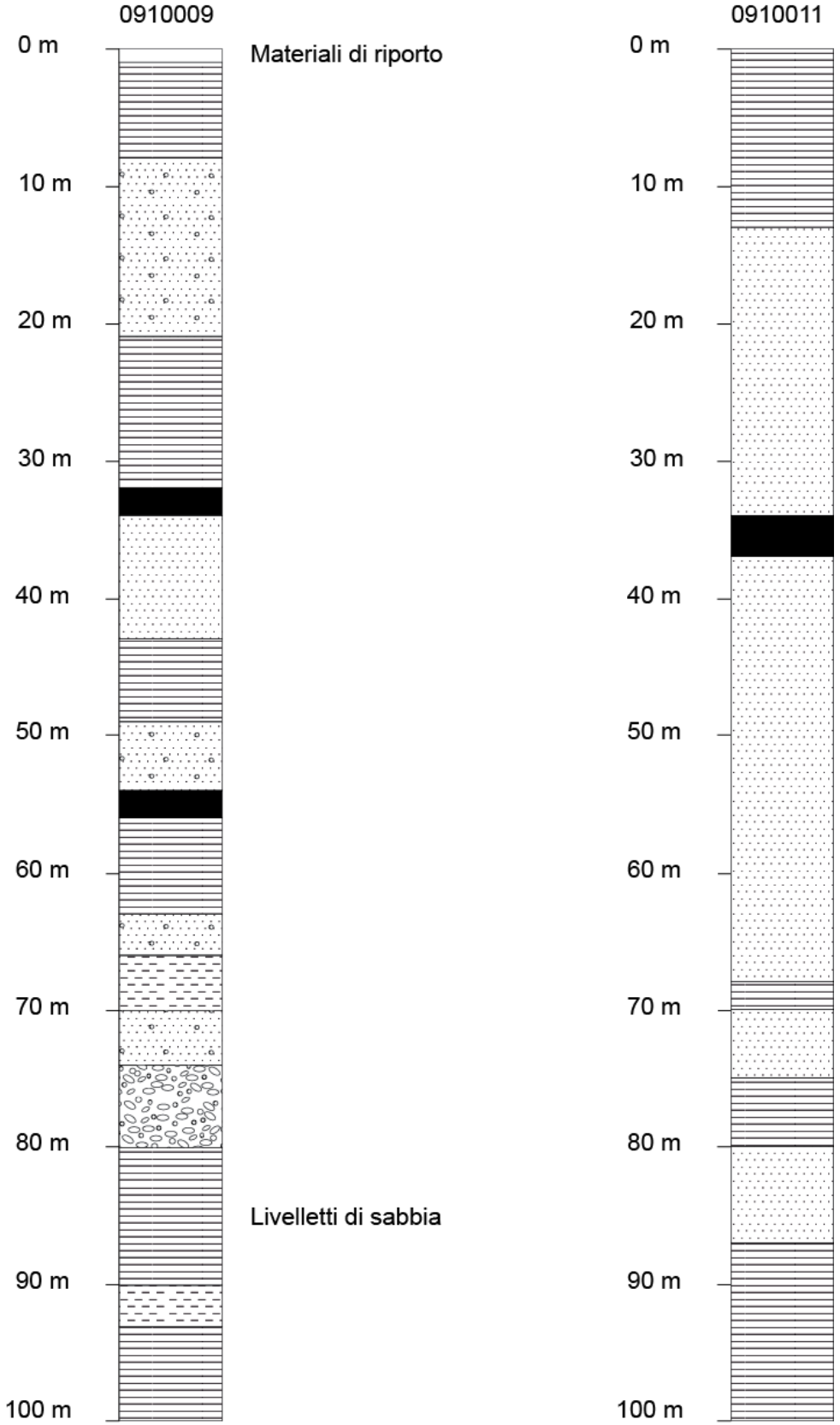
Pozzo Palazzolo dello Stella (Feruglio, 1936)

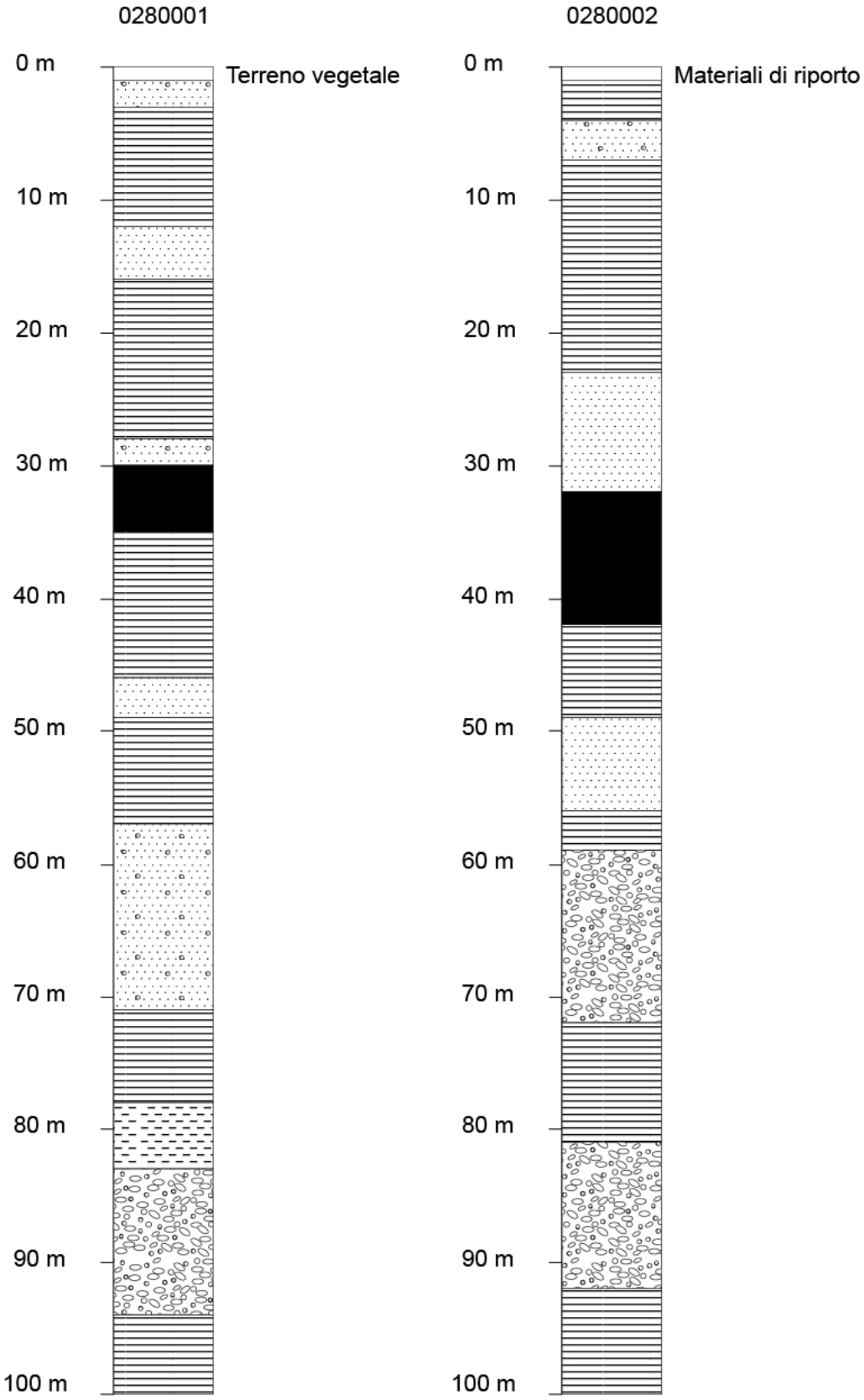


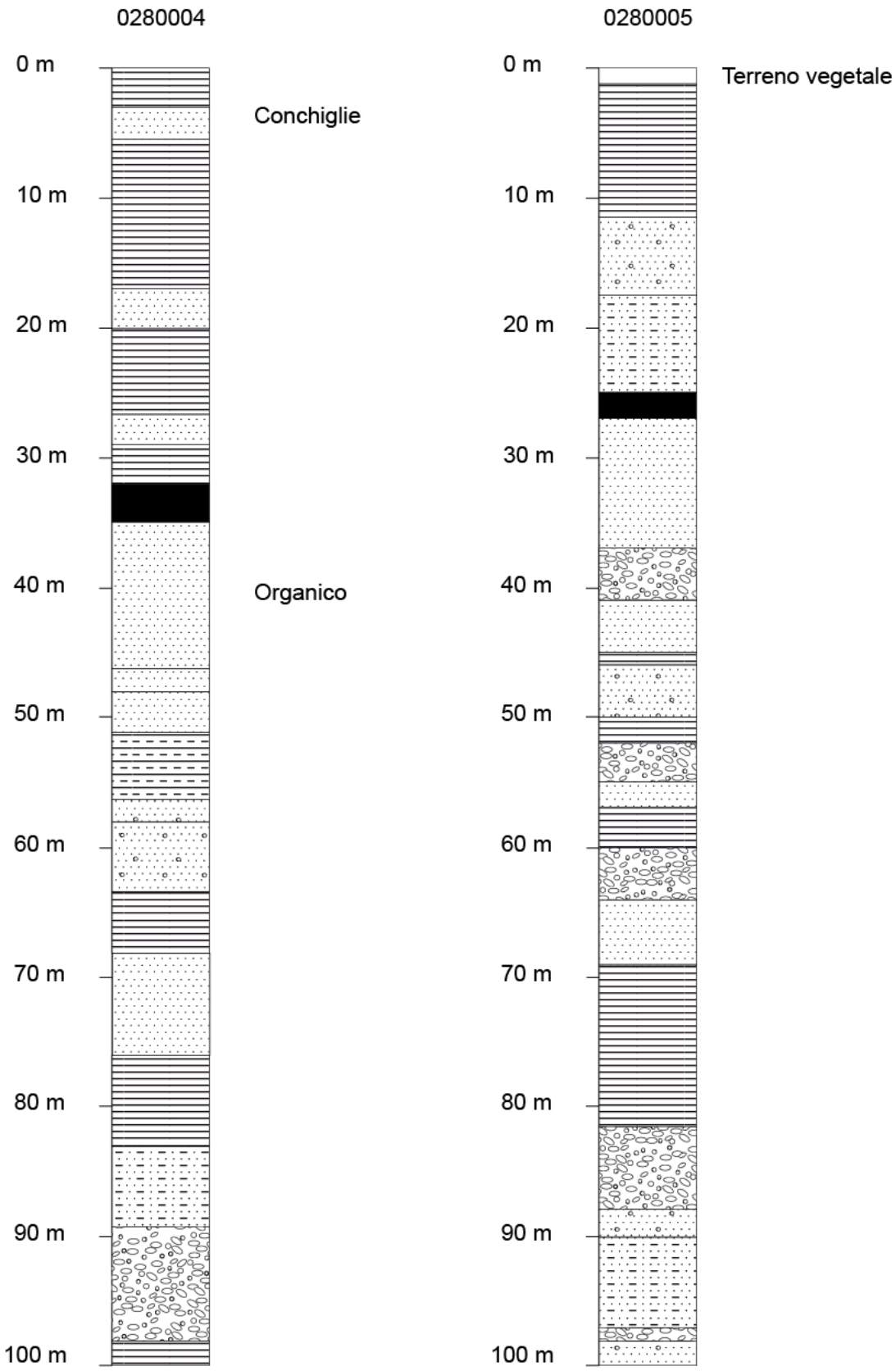
Questi pozzi sono riferibili alla tabella 9.1

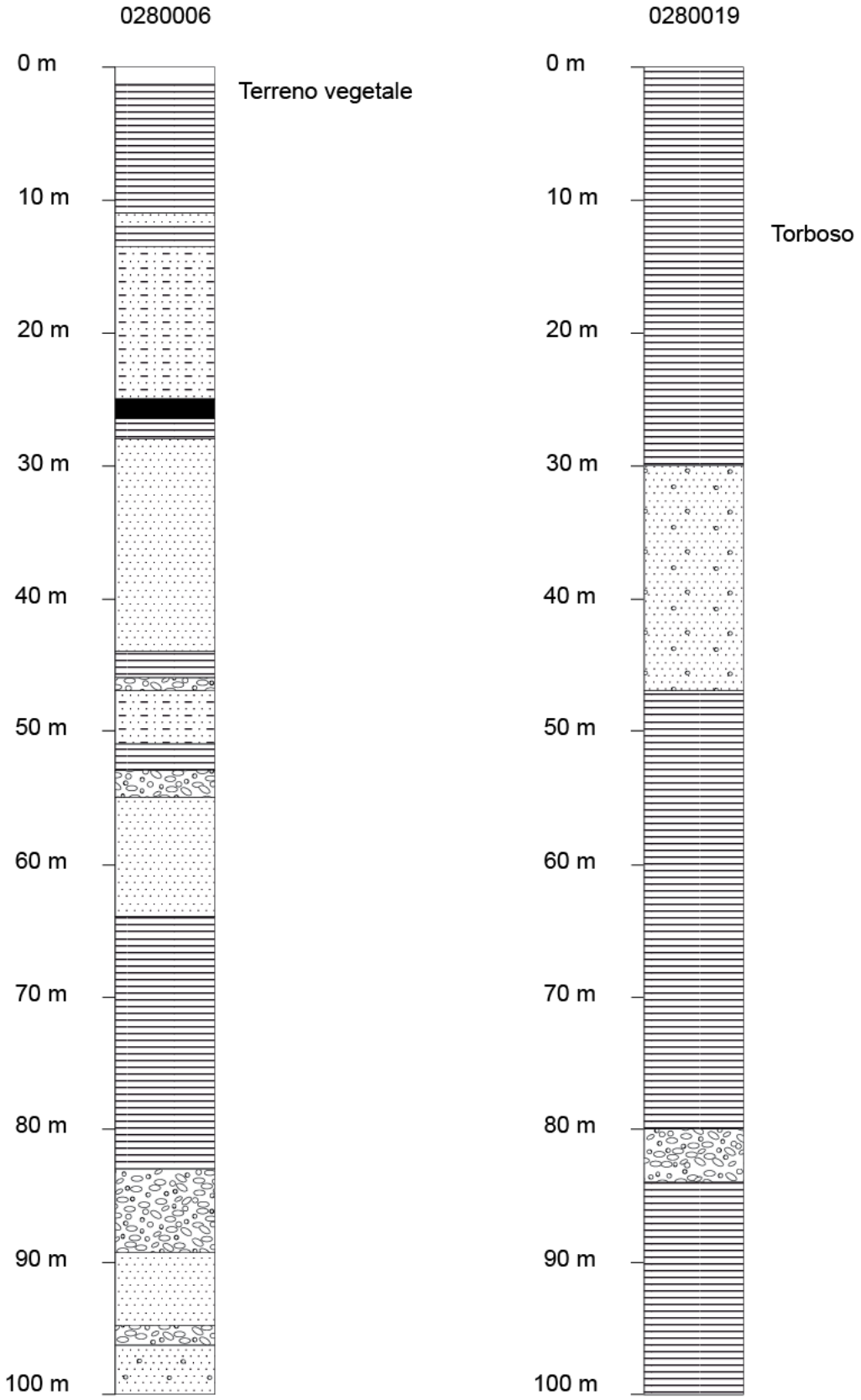


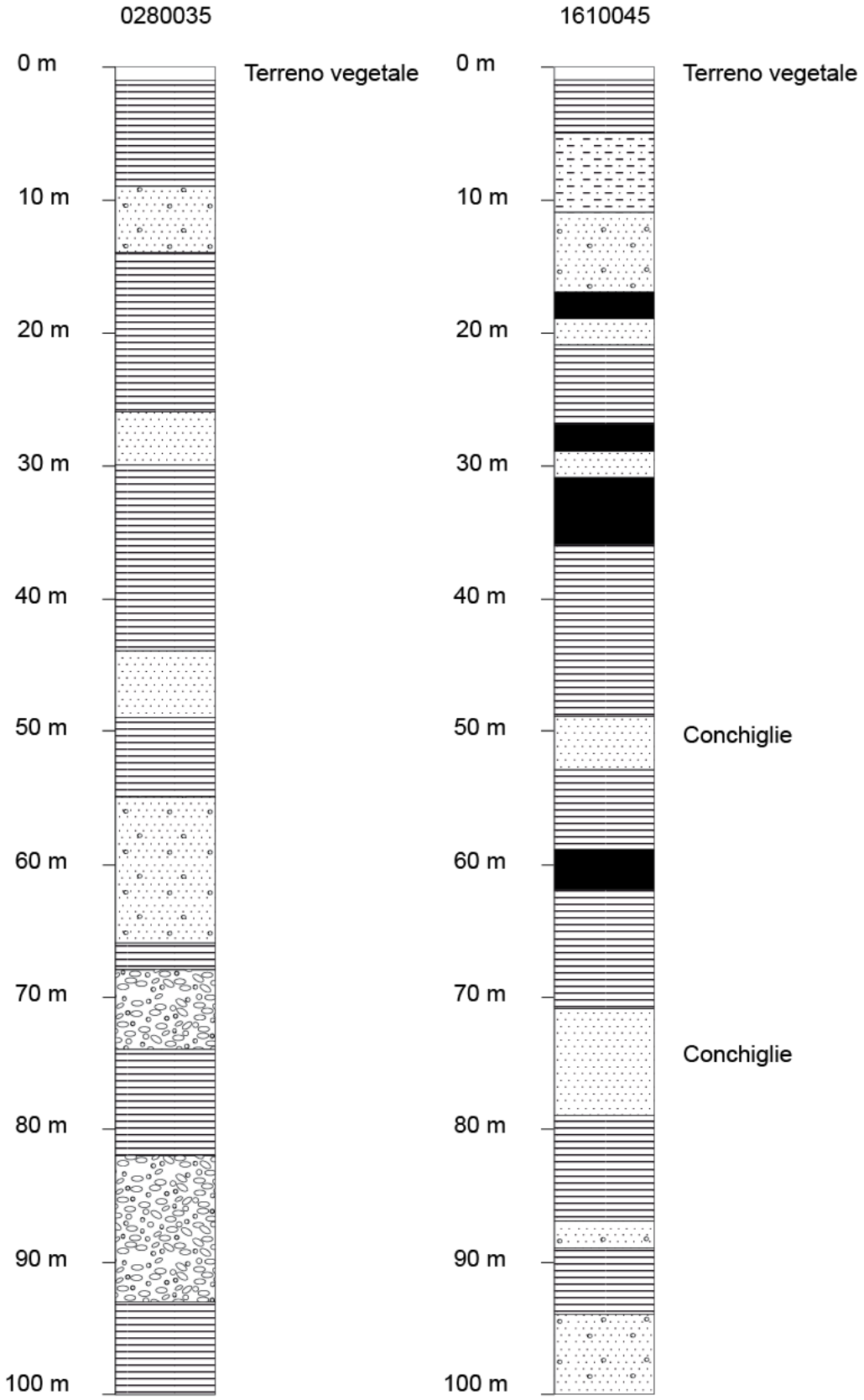


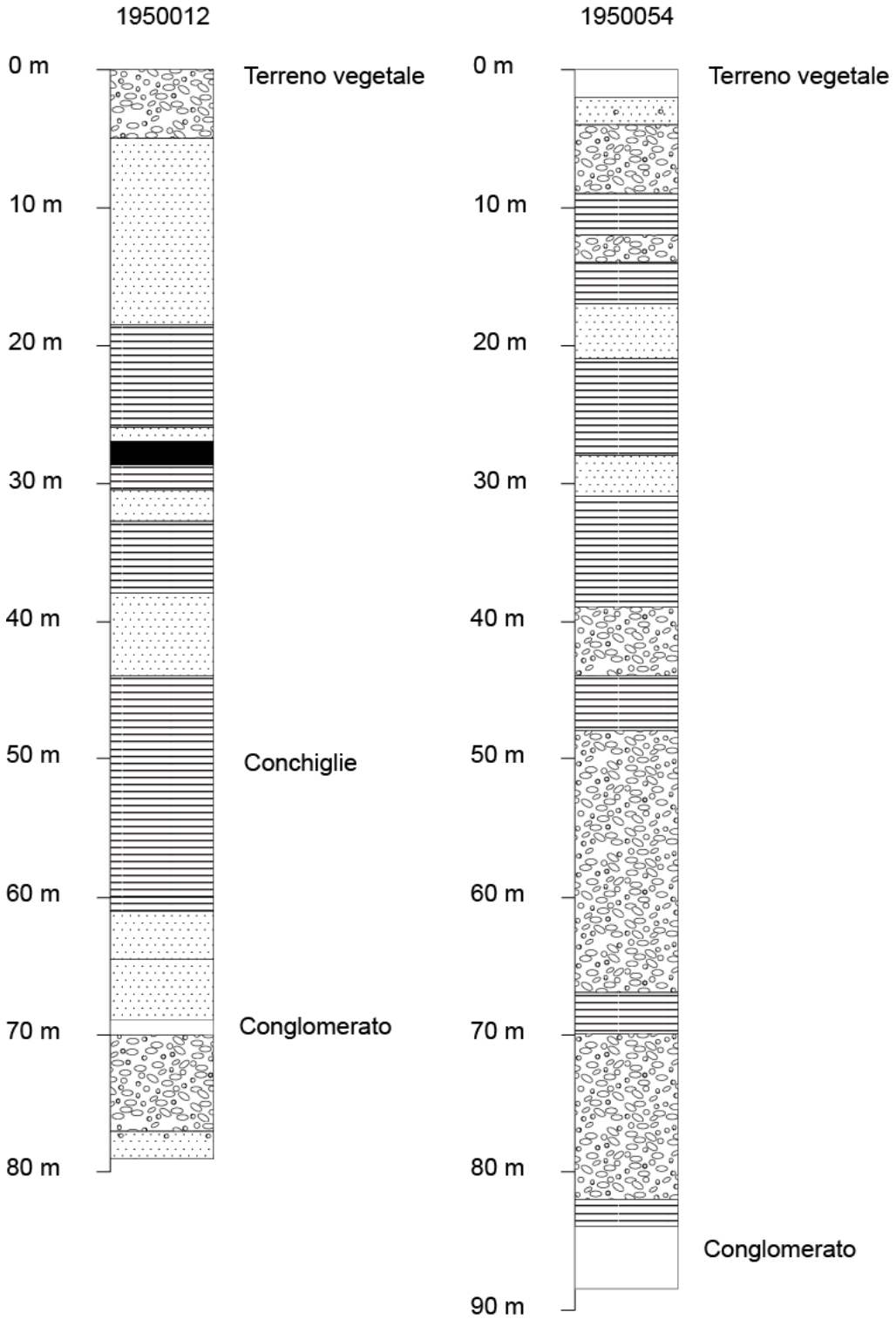

0910009
0910011
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
90 m
100 m
Materiali di riporto
Livelletti di sabbia

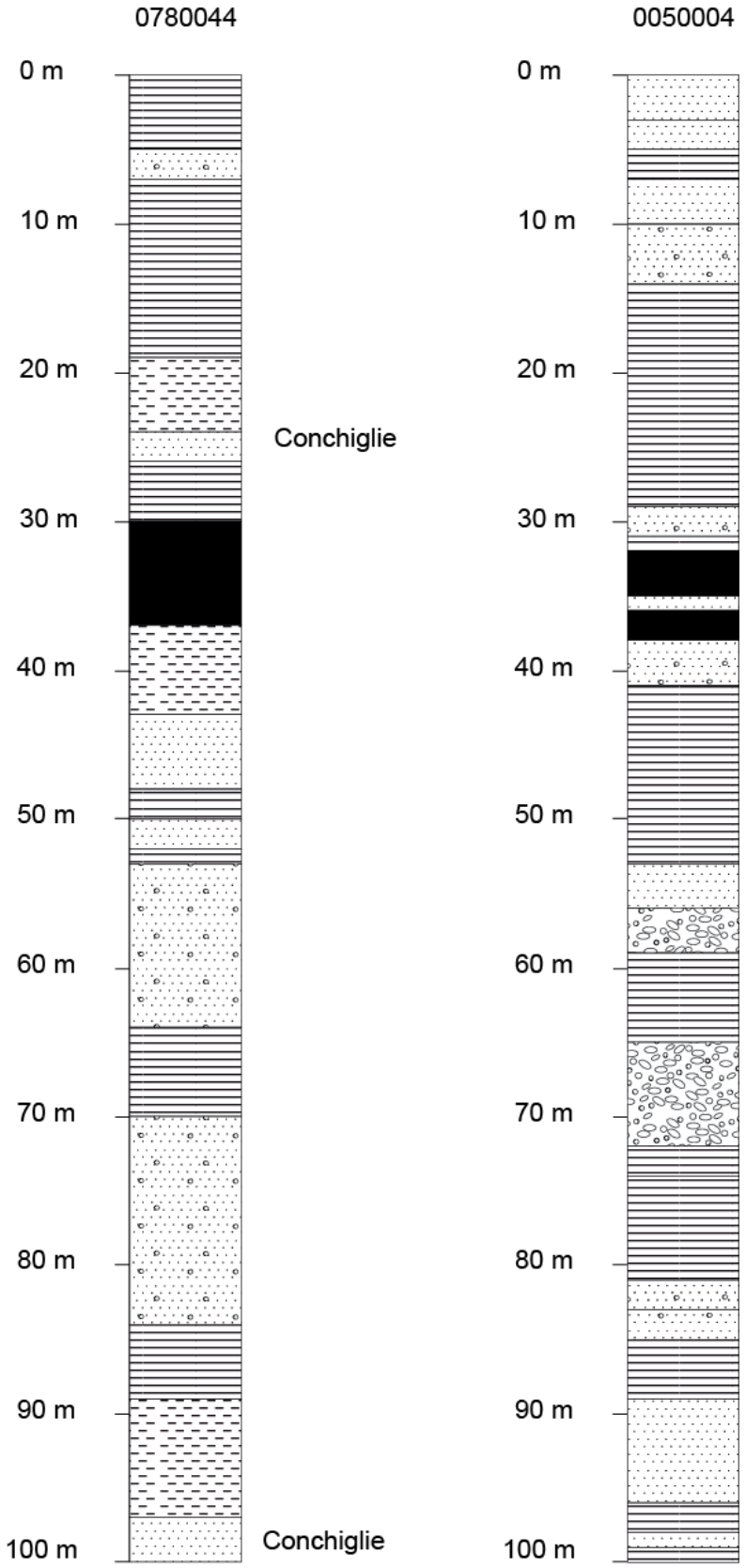

0280001
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
90 m
100 m
Terreno vegetale
0280002
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
90 m
100 m
Materiali di riporto

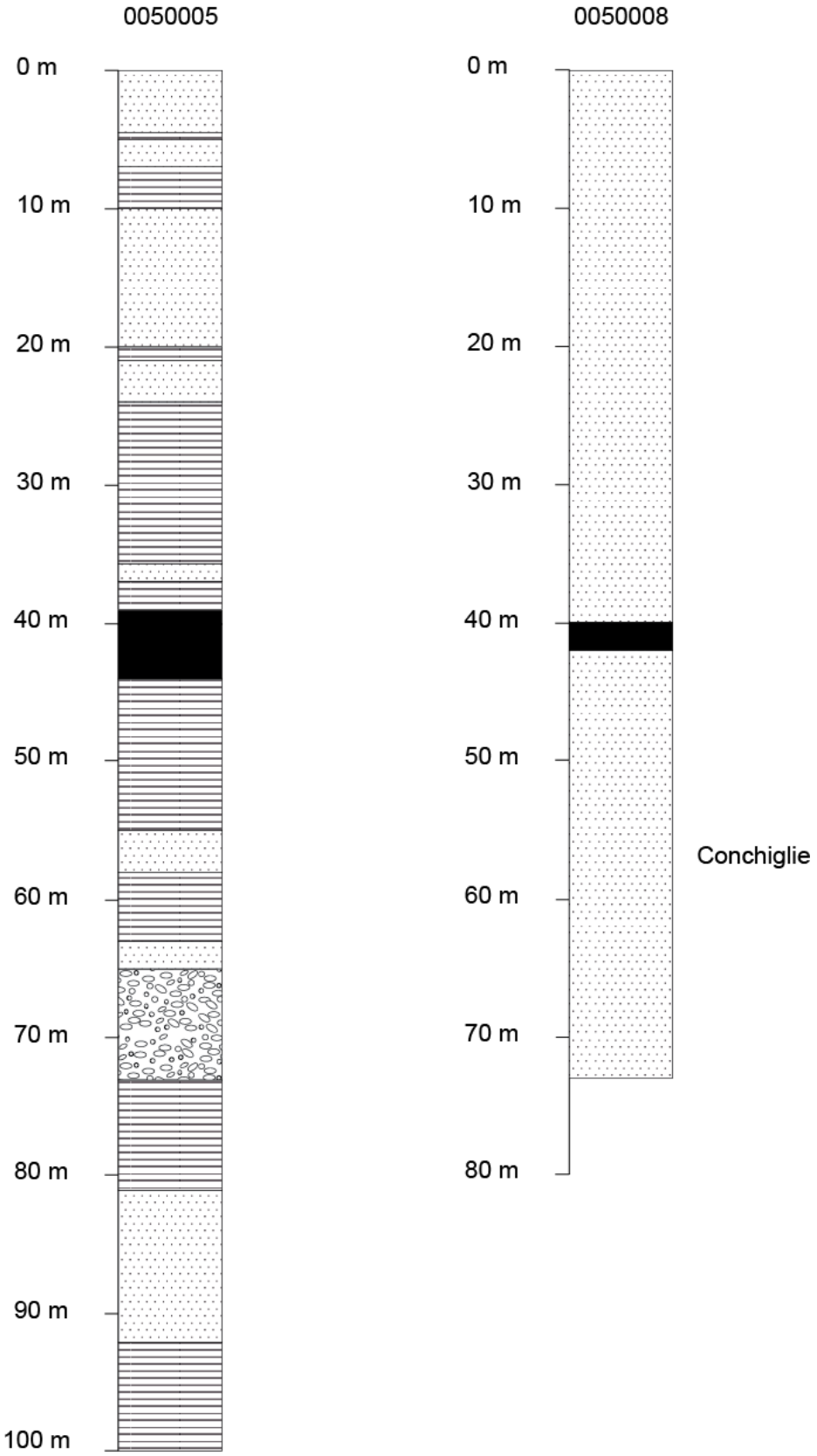

0280004
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
90 m
100 m
Conchiglie
Organico
0280005
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
90 m
100 m
Terreno vegetale

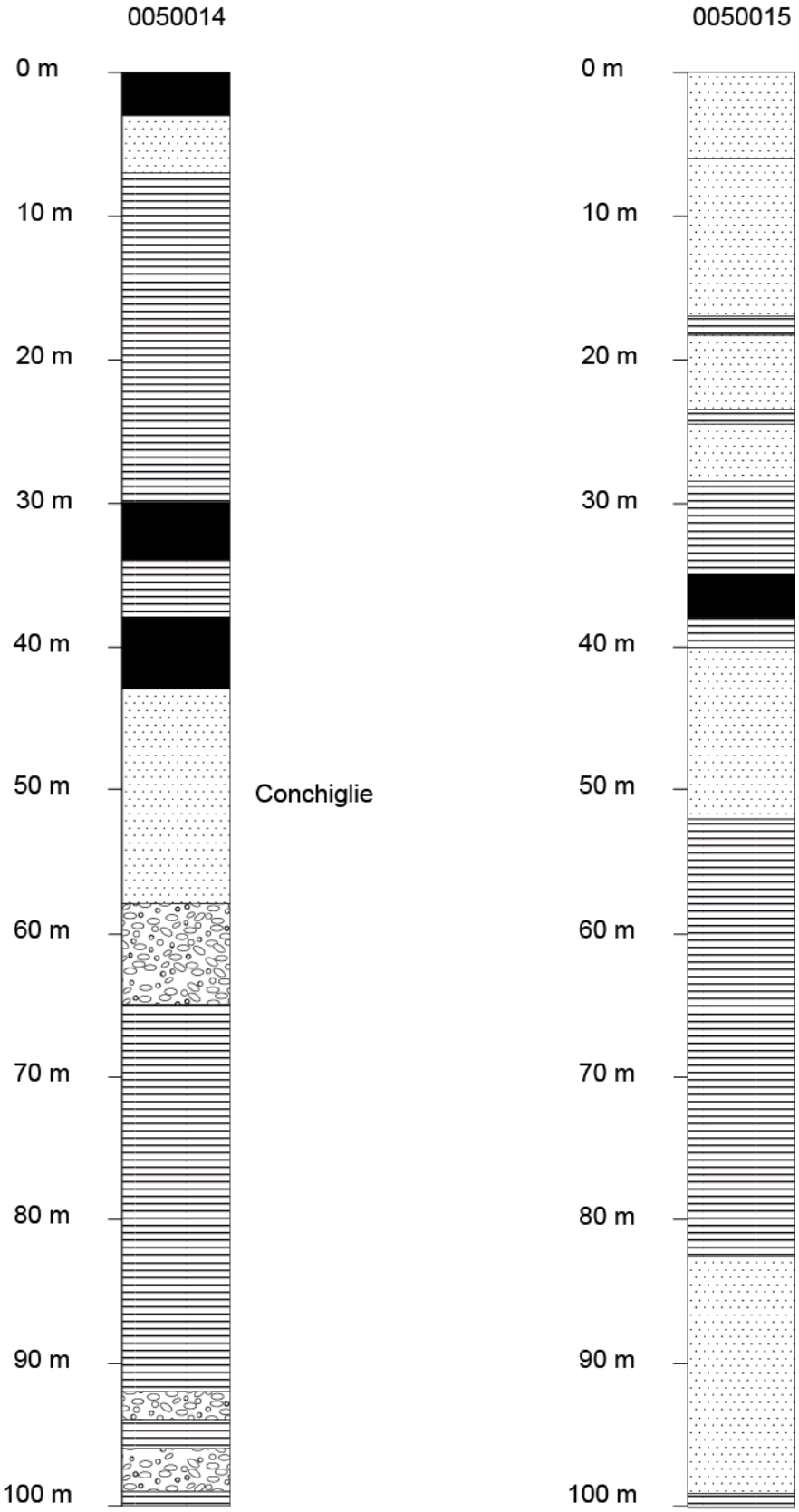

0280006
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
90 m
100 m
Terreno vegetale
0280019
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
90 m
100 m
Torboso


0280035
1610045
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
90 m
100 m
Terreno vegetale
Conchiglie
Conchiglie


1950012
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
Terreno vegetale
Conchiglie
Conglomerato
1950054
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
90 m
Terreno vegetale
Conglomerato


0780044
0050004
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
90 m
100 m
Conchiglie
Conchiglie


0050005
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
90 m
100 m
0050008
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
Conchiglie


0050014
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
90 m
100 m
Conchiglie
0050015
0 m
10 m
20 m
30 m
40 m
50 m
60 m
70 m
80 m
90 m
100 m