



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Geoscienze
Direttore Prof. Cristina Stefani

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN
GEOLOGIA E GEOLOGIA TECNICA

**DATAZIONI U-Pb SU ZIRCONI NEI SEDIMENTI
POST MASSIMO GLACIALE DEL MARE DI
ROSS (ANTARTIDE)**

Relatore: Prof. Massimiliano Zattin
Correlatore: Dott.ssa Benedetta Andreucci

Laureanda: Diana Loregian

ANNO ACCADEMICO 2014 / 2015

Riassunto

La ricostruzione della dinamica delle calotte polari è di fondamentale importanza per i ricercatori che lavorano ai modelli climatici. In questo lavoro, si è cercato di ricostruire le linee di flusso post massimo glaciale nell'area del Mare di Ross (Antartide) sulla base di un'analisi di provenienza dei sedimenti. Sono state quindi campionate sette carote prelevate durante varie crociere oceanografiche. I campioni sono stati sottoposti a separazione granulometrica, chimica e magnetica per ottenere infine un concentrato di zirconi. La frazione residua è stata studiata in catodoluminescenza e, infine, l'età degli zirconi è stata ottenuta attraverso analisi in microsonda associata ad un ICP-MS presso i laboratori del CNR-IGG di Pavia. I dati mostrano che nel settore orientale della baia è prevalente una popolazione di zirconi cretacei (100-110 Ma), quasi completamente assenti nei sedimenti occidentali dove invece sono molto abbondanti età tipiche del basamento cristallino delle Transantarctic Mountains (500-550 Ma). E' stato possibile quindi discriminare i sedimenti provenienti dalla calotta West Antarctica da quelli influenzati dalle dinamiche legate alla calotta East Antarctica.

Abstract

Reconstruction of the dynamics of polar ice sheets is very important for climate modelling. In this work, I tried to obtain some information about the ice flow across the Ross Sea (Antarctica) through sedimentary provenance analysis. Samples have been collected from seven cores drilled in the past years. Sediments were processed through chemical and magnetic separation in order to obtain a sufficient amount of zircons. These grains have been analyzed first at a cathodoluminescence microscope and then with the U-Pb method at the ICP-MS lab of CNR-IGG in Pavia. Data show that samples from the eastern sites of the bay contain a main population of Cretaceous zircons (100-110 Ma) which are much rarer in the western locations. Here, most of the grains are between 500 and 550 Ma, which are the ages most common in the crystalline basement of Transantarctic Mountains. Finally, these data allowed to distinguish the sediments related to the West Antarctic Ice Sheet from those deriving from the East Antarctic Ice Sheet.

Indice

Introduzione	1
Inquadramento Geologico	5
Antartide orientale e le Transantarctic Mountains.....	5
Antartide occidentale	6
Studi Precedenti	11
Oscillazioni post LGM della linea di ancoraggio	11
Paleoflusso	19
Studi di provenienza	22
Metodologia e Lavorazione	33
Introduzione alla geocronologia U-Th-Pb	33
Metodo U-Th-Pb per gli zirconi	37
Fasi di lavorazione	38
Risultati	51
Discussione	63
Conclusioni	67
Bibliografia	69
Appendice	77

1. Introduzione



Fig. 1.1: Carta geografica dell'Antartide

Una delle questioni più interessanti nelle scienze della terra è la possibilità di fare delle predizioni sulle variazioni future del livello del mare. Ricostruire le dinamiche e i fattori di controllo del flusso e dello scioglimento dei ghiacci è di fondamentale importanza per raggiungere questo scopo. In particolare, basarsi sui modelli dello scioglimento dei ghiacci per il futuro richiede una buona conoscenza dell'evoluzione delle calotte polari nel passato in risposta a cambiamenti climatici.

Il Mare di Ross è un'area cruciale per lo studio delle dinamiche delle calotte polari antartiche poiché drena circa un terzo del ghiaccio antartico, sia dall'Eastern Antarctic Ice Sheet (EAIS) che dal Western Antarctic Ice Sheet (WAIS).

All'interno di questa cornice, nell'ultima decina di anni sono state oggetto di ricerche le seguenti questioni:

1. discriminare i contributi del WAIS e del EAIS al flusso del Ross Ice Sheet (RIS) e le variazioni nel tempo di quest'ultimo a partire dalla formazione delle calotte polari antartiche. Questo è importante poiché le due calotte polari hanno caratteristiche differenti e potrebbero rispondere in modo diverso ai cambiamenti climatici (e.g. Bindshadler, 1991; Hollin, 1962; Hughes, 1973; MacAyeal, 1992; Alley & MacAyeal, 1994; Anderson et al., 2002). In particolare, il WAIS è considerato essere la componente più instabile della moderna criosfera poiché la sua base sta sotto il livello del mare, drenato da flussi glaciali molto rapidi e orlato di piattaforme galleggianti (Hughes, 1977);
2. ricostruire le tappe del ritiro della linea di ancoraggio del RIS dopo l'ultimo massimo glaciale (LGM) e associarle a cambiamenti climatici globali. Questo è importante perché lo stesso processo di scioglimento sta avvenendo tuttora.

Per rispondere alla prima questione, sono stati intrapresi numerosi studi di provenienza. Per il periodo pre-LGM, la provenienza dei sedimenti e le linee di flusso sono state ricostruite con un buon grado di dettaglio lungo il margine

occidentale del Mare di Ross, con l'ausilio di parecchie tecniche (mineralogia, petrografia, geocronologia, termocronologia). In maniera analoga sono stati compiuti studi per determinare le linee di flusso durante il LGM (Hughes, 1973; Anderson et al., 1983; Licht et al., 2005; Farmer et al., 2006; Licht & Palmer, 2013). Questi studi concordano nell'indicare che durante il LGM i flussi provenienti dal WAIS e dall'EAIS convergevano nel Mare di Ross a 180° W di longitudine (Licht et al., 2005; Farmer et al., 2006; Licht & Palmer, 2013). Comunque, nonostante questa idea generale comune, sono state proposte diverse interpretazioni per linee di flusso molto più dettagliate, ed è stato proposto un ulteriore modello basato su una modellizzazione numerica (Golledge et al., 2012).

Questa tesi si propone quindi di studiare, attraverso analisi U-Pb su zircone da campioni provenienti da varie carote raccolte nel Mare di Ross, le relazioni tra i diversi apporti sedimentari e le linee di flusso glaciali.

2. Inquadramento Geologico

Il Mare di Ross è delimitato ad ovest e a sud dalle Transantarctic Mountains della Victoria Land e a est dalla Marie Byrd Land. Attualmente, la maggior parte del Mare di Ross è coperto dal Ross Ice Shelf (RIS). Nella parte più vicina al mare, la piattaforma continentale si trova ad una profondità di circa 500 m e mostra il tipico gradiente inverso delle regioni coperte da vaste calotte glaciali (Anderson, 1999). La batimetria del fondale del Mare di Ross è caratterizzata da parecchie depressioni e dorsali che attraversano la piattaforma continentale in direzione NE-SO. L'Antartide Occidentale è un arcipelago di isole quasi completamente ricoperte dal West Antarctic Ice Sheet (WAIS), la cui base sta prevalentemente al di sotto del livello del mare. La maggior parte delle rocce esposte nel bacino antartico occidentale che alimenta la Baia di Ross è generalmente confinata alla provincia vulcanica della Marie Byrd Land. Le Transantarctic Mountains rappresentano il limite tra il WAIS e l'EAIS (East Antarctic Ice Sheet). Visto che la composizione del till nell'Antartide occidentale e orientale riflette in primo luogo la geologia locale, la comprensione della geologia regionale della Baia di Ross è essenziale per determinare la provenienza del till attraverso la piattaforma continentale del Mare di Ross (Licht et al., 2004).

GEOLOGIA E STRUTTURA

Antartide orientale e le Transantarctic Mountains

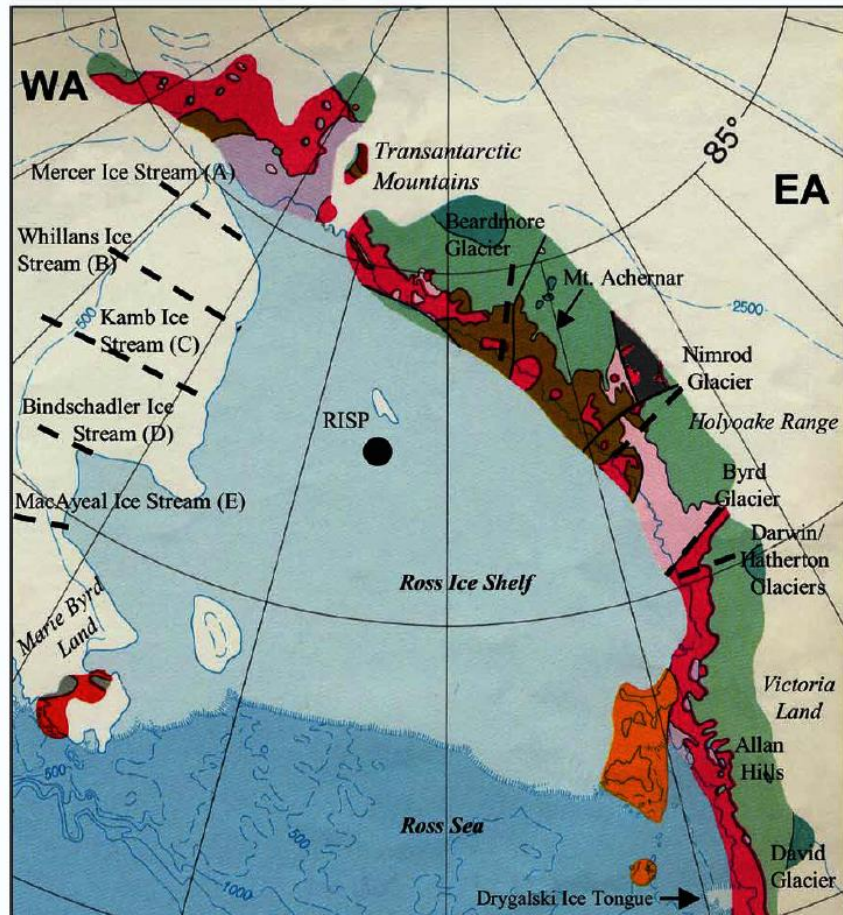
Il cratone dell'Antartide orientale è rimasto stabile tettonicamente e strutturalmente fin dalla rottura del continente Gondwana iniziata nel Giurassico. In generale, le rocce dell'Antartide orientale sono più vecchie di quelle occidentali.

Il Nimrod Group (Archeano-Proterozoico inferiore) è un complesso metamorfico eterogeneo contenente gneiss laminati da quarzofeldspatici a mafici, scisti, quarziti, marmi, così come rocce granitiche e gabbri, eclogiti relitte e anche rocce ultramafiche. Sopra al Nimrod Group troviamo il Beardmore Group del Precambriano Superiore, con rocce contenenti scisci pelitici, cornubianiti e metagrovacche. In seguito si passa al Byrd Group (Cambriano) che comprende rocce sedimentarie e metasedimentarie (Bushnell & Craddock, 1970; Myrow et al., 2002). L'unità basale è formata dal Shackleton Limestone (con alcune unità oolitiche) e marmo, mentre le unità sovrastanti contengono quarzite, marmo, conglomerati, arenarie e argilliti. Alcune aree delle Transantarctic Mountains e della Marie Byrd Land presentano affioramenti delle Granite Harbour Intrusive Series (Cambriano-Ordoviciano), che includono granodiorite a biotite e orneblenda, granito a orneblenda e adamellite a biotite-muscovite-microclino. Sopra al Byrd Group troviamo il Beacon Supergroup (Devoniano-Triassico medio) che consiste di una sequenza di arenarie quarzose e conglomerati basali, tilliti e sedimenti fluvio-glaciali, così come una successione di arenarie, argilliti e carbone, intrusa da dicchi doleritici (Barrett, 1991). Poi si passa al Ferrar Group (Triassico-Giurassico), composto da basalti, tufi e conglomerati vulcanici con dolerite toleittica e intruso da sills doleritici. Sopra al Ferrar Group vi è il McMurdo Volcanic Group (Terziario superiore-Quaternario), un complesso vulcanico che comprende una parte della Victoria Land orientale e che si estende nel Mare di Ross occidentale (WRS). Al McMurdo Volcanic Group sono associate numerose tipologie di rocce effusive, tra cui rioliti e basalti (Kyle, 1990) (Figg. 2.1, 2.2).

Antartide occidentale

L'Antartide occidentale è caratterizzata principalmente dal rift lungo circa 3000 km che ha prodotto episodiche estensioni crostali fin dal tardo Mesozoico (Behrendt & Cooper, 1991; Wilson, 1992; Dalziel & Lawver, 2001). Le rocce basaltiche e alcaline sono associate ad un rifting tardo Cretaceo-Cenozoico, caratterizzato da un limitata estensione con un sollevamento dei bordi del rift e

associata a vulcanismo alcalino bimodale (Le Masurier, 1990; Behrendt et al., 1991; Lawver et al., 1991; Fitzgerald, 1992). Questo rift contiene più di 600 m di sedimento derivato dall'erosione delle Transantarctic Mountains e da deposizione marina, avvenuta durante periodi "ice-free" in congiunzione con input terrigeni, come evidenziato dalla presenza di diatomee Mioceniche nei sedimenti (Rooney et al., 1991; Scherer et al., 1998). Poiché l'Antartide occidentale è in gran parte coperta dal WAIS, gli affioramenti rocciosi sono limitati ai nunataks della Marie Byrd Land e alle Transantarctic Mountains a sud. La provincia vulcanica della Marie Byrd Land consiste di catene di vulcani a scudo meso-cenozoici orientati N-S e E-O e di rocce del basamento Paleozoico rimodellate in nunataks dall'azione glaciale (Le Masurier & Rex, 1991). I vulcani a scudo sono formati da flussi basaltici e sono coperti da flussi felsici e intermedi. Le rocce del basamento Paleozoico e Mesozoico includono la Ford Granodiorite e il Byrd Coast Granite, così come le argilliti del Paleozoico inferiore della Swanson Formation (Le Masurier & Wade, 1976; Le Masurier & Rex, 1991; Luyendyk et al., 1991; Weaver et al., 1991). Gli affioramenti a sud, all'interno delle Transantarctic Mountains, sono costituiti prevalentemente da rocce intrusive del Granite Harbor (Licht et al., 2004) (Figg. 2.1., 2.2).



- McMurdo Volcanic Group** (olivine basalt, trachyte, kenyte, pyroclastic deposits) Upper Tertiary - Quaternary
- Ferrar Group** (tholeiitic flows, dolerite sills, agglomerate tuff, volcanic conglomerate) Triassic - Jurassic
- Beacon Supergroup** (conglomerate, sandstone, shale, tillite, glacial fluvial sediments, coal measures with tholeiitic dikes, sills, and plugs) Devonian - middle Triassic
- Ford Granodiorite and Byrd Coast Granite** (Paleozoic)
- Granite Harbour Intrusives** (biotite-hornblende granodiorite and hornblende granite) Cambrian - Ordovician
- Byrd Group** (marble, limestone, oolitic limestone, quartzite, conglomerate, sandstone, volcanic rocks, micaceous-microcline adamellite) Cambrian
- Beardmore Group** (pelitic schist, hornfels, metagraywacke, argillite) upper Precambrian
- Nimrod Group** (quartzite, marble, schist, diorite, gneiss, eclogite lenses) Precambrian
- Basement Complex** - metasedimentary rocks - Precambrian

Fig. 2.1: Carta geologica dei principali gruppi rocciosi della baia di Ross, incluse le Transantarctic Mountains, la Victoria Land e la Western Marie Byrd Land. Le linee nere tratteggiate indicano le posizioni approssimative di ghiacciai e di flussi glaciali (Licht et al., 2004).

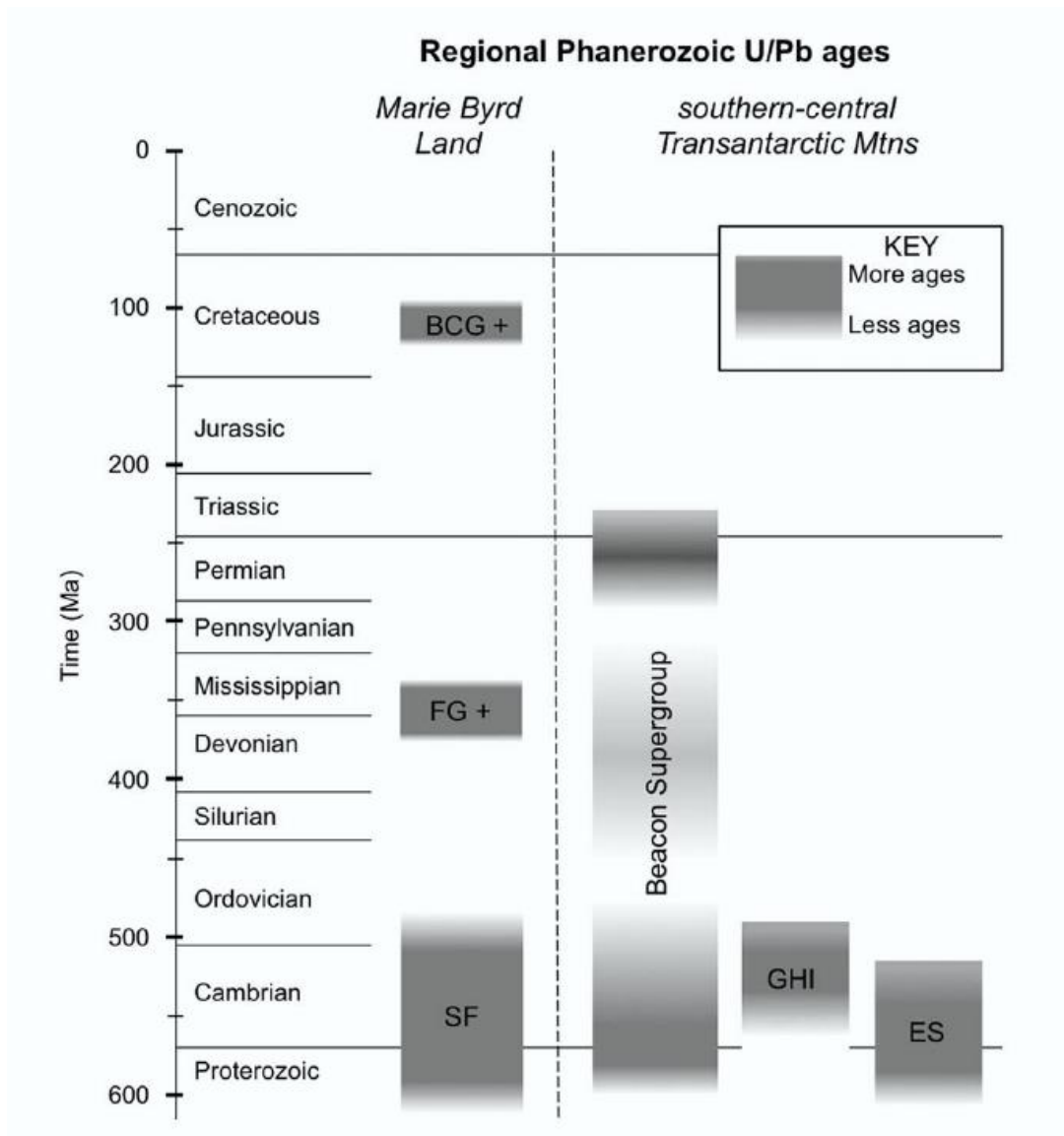


Fig. 2.2 (Licht et al., 2014): Età delle formazioni rocciose dell'area in esame. I dati provengono dalle età U/Pb degli zirconi presenti nei campioni indicati in fig. 4.13. BCG + = Byrd Coast Granite più altre formazioni, ES = Eocene sandstone, FG + = Granodiorite più altre formazioni, GHI = Granite Harbour Intrusives, SF = Swanson Formation.

3. Studi Precedenti

Oscillazioni post LGM della linea di ancoraggio

Il WAIS è considerato essere più instabile dell'EAIS (Hughes, 1973). E' una calotta polare con la base parecchio sotto al livello del mare e caratterizzata da un rapido flusso e scarico rispetto all'EAIS. La maggior parte di questi scarichi avviene grazie a flussi glaciali che raggiungono velocità di centinaia di metri all'anno. Negli ultimi anni sono state condotte varie ricerche incentrate sul drenaggio dei ghiacci nel WAIS (Shipp et al., 1999; Anderson & Shipp, 2001; Wellner et al., in stampa; fig. 3.1).

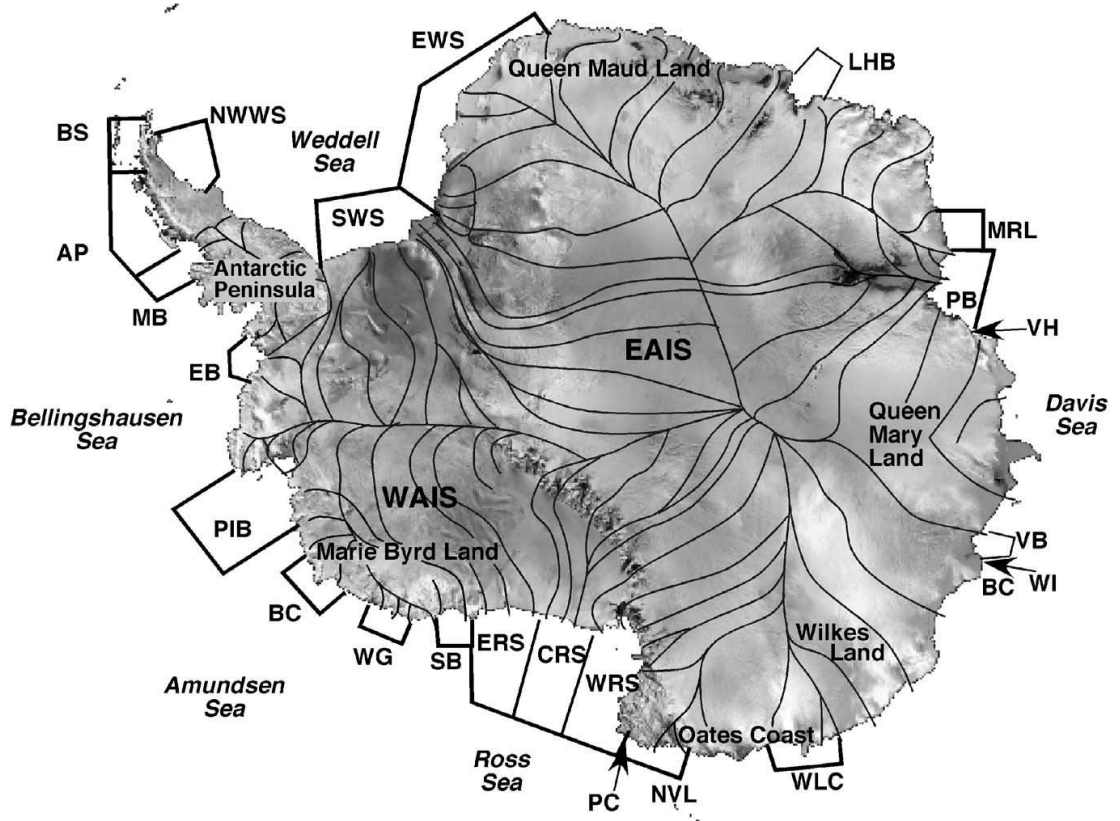


Fig.3.1: Mappa di drenaggio dell'Antarctic Ice Sheet che mostra le aree dove sono stati effettuati rilievi geologico-marini, con lo scopo di ricostruire la configurazione delle calotte glaciali al LGM (da Anderson et al., 2002). In particolare, le sigle nella baia del Mare di Ross indicano quanto segue: CRS = Central Ross Sea; ERS = Eastern Ross Sea; WRS = Western Ross Sea.

Il settore centrale e quello orientale del Mare di Ross vengono alimentati soprattutto dal WAIS; al contrario, il Mare di Ross occidentale viene alimentato dal EAIS. Le diverse sorgenti hanno portato a forti differenze nell'estensione dei ghiacci durante il LGM e nei tempi di ritiro (Anderson, 1999; Shipp et al., 1999).

Profili sismici ad alta risoluzione hanno evidenziato la presenza di alcune discontinuità nella stratigrafia più recente della piattaforma continentale del Mare di Ross (e.g., Hayes & Davey, 1975; Alonso et al., 1992). La discontinuità più recente si è formata durante il LGM (Shipp et al., 1999): i depositi al di sopra di essa sono stati campionati da pistoni e carotieri a gravità e analizzati per varie proprietà sedimentarie (Anderson et al., 1980, 1984; Licht et al., 1996, 1999; Domack et al., 1999a). La stratigrafia include sedimenti glacio-marini a diatomee sopra a sedimenti di transizione glacio-marini, a loro volta sopra a till (Domack et al., 1999a; Shipp et al., 1999; Fig. 3.2). Altri studi batimetrici e mediante sonar hanno fornito evidenze che la calotta polare appoggia direttamente sulla piattaforma continentale (Shipp et al., 1999). Questi dati, uniti ai risultati delle analisi petrofisiche sul till, sono stati usati per ricostruire il paleodrenaggio del Mare di Ross (Anderson et al., 1984, 1992; Jahns, 1994; Shipp et al., 1999; Fig. 3.2).

Nel Mare di Ross orientale, due canali drenano il WAIS. Sono state prelevate carote di till lungo i canali: la combinazione dei dati geofisici e sedimentologici ha stabilito che la linea di ancoraggio abbia raggiunto al massimo lo shelf break.

Conway et al. (1999) hanno suggerito che la linea di ancoraggio si sia ritirata con ripetute oscillazioni più evidenti sul lato occidentale del Mare di Ross, ritirandosi invece in modo meno brusco sul lato orientale. Comunque, ci sono troppi pochi dati circa le età per quanto riguarda il settore centrale e quello orientale del Mare di Ross, e le caratteristiche geomorfiche fanno pensare ad un processo di ritiro molto più complesso (Anderson et al., 2001).

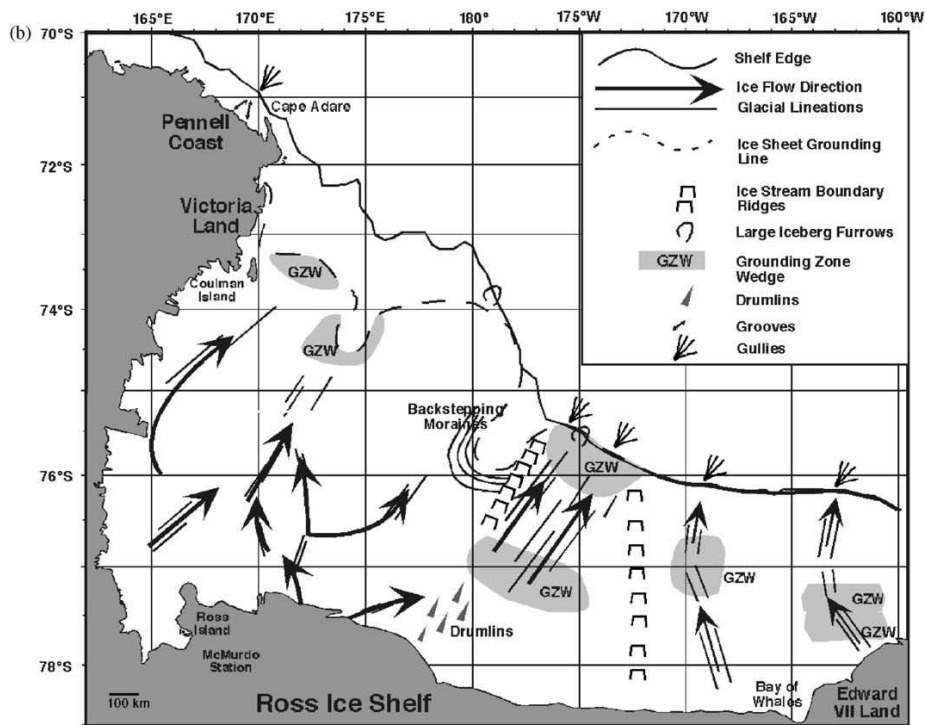
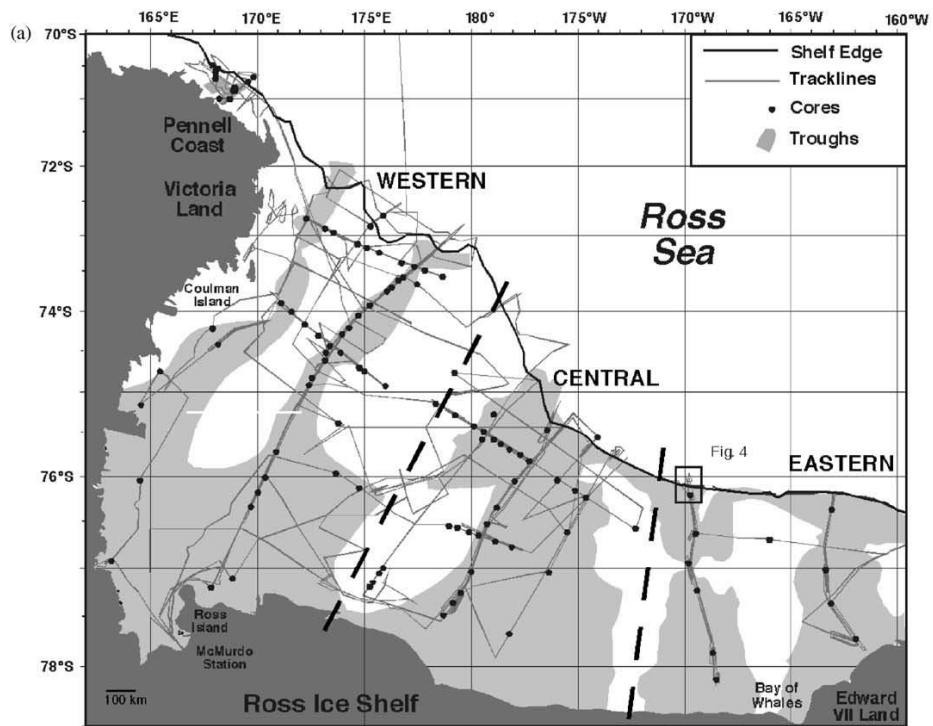


Fig.3.2: (a) Dati usati per la ricostruzione dell'assetto del Mare di Ross al LGM. I canali sono segnati in grigio. (b) Posizione dei caratteri geomorfici e carta del paleodrenaggio del Mare di Ross (Anderson et al., 2001).

Inoltre non è ancora chiaro se il bilancio positivo di massa del Mare di Ross (Rignot et al., 2008) e l'apparente stabilità della linea di ancoraggio negli ultimi 2 Ka siano dovuti alle fluttuazioni centennali dei flussi glaciali oppure ad un'inversione del ritiro olocenico della calotta polare (Anderson et al., 2013).

Le Figg. 3.4, 3.5, 3.6 (a,b,c), forniscono una ricostruzione della calotta polare a 15, 10 e 5 Ka BP. Queste ricostruzioni sono basate sulla combinazione di dati terrestri e marini. Le età ricavate dai sedimenti marini mostrano che la linea di ancoraggio si è ritirata dall'Isola di Coulman circa 13 Ka BP per raggiungere la Drygalsky Ice Tongue circa 11 Ka BP. Dati terrestri indicano la presenza di calotta polare presso la Terra Nova Bay ancora a 8,2 Ka BP. A quel punto la linea di ancoraggio si è ritirata velocemente fino a nord della Ross Island circa 7,8 Ka BP e poi fino a sud del Hatherton Glacier circa 6,8 Ka BP (Fig. 3.6 a, b). L'età di esposizione dei nunataks nei pressi degli sbocchi dello Scott Glacier e del Reedy Glacier indica un assottigliamento dal medio al tardo Olocene, e la linea di ancoraggio ha raggiunto la sua attuale posizione circa 2-3 Ka BP (per i riferimenti geografici, vedere fig. 3.3) (Anderson et al., 2013).

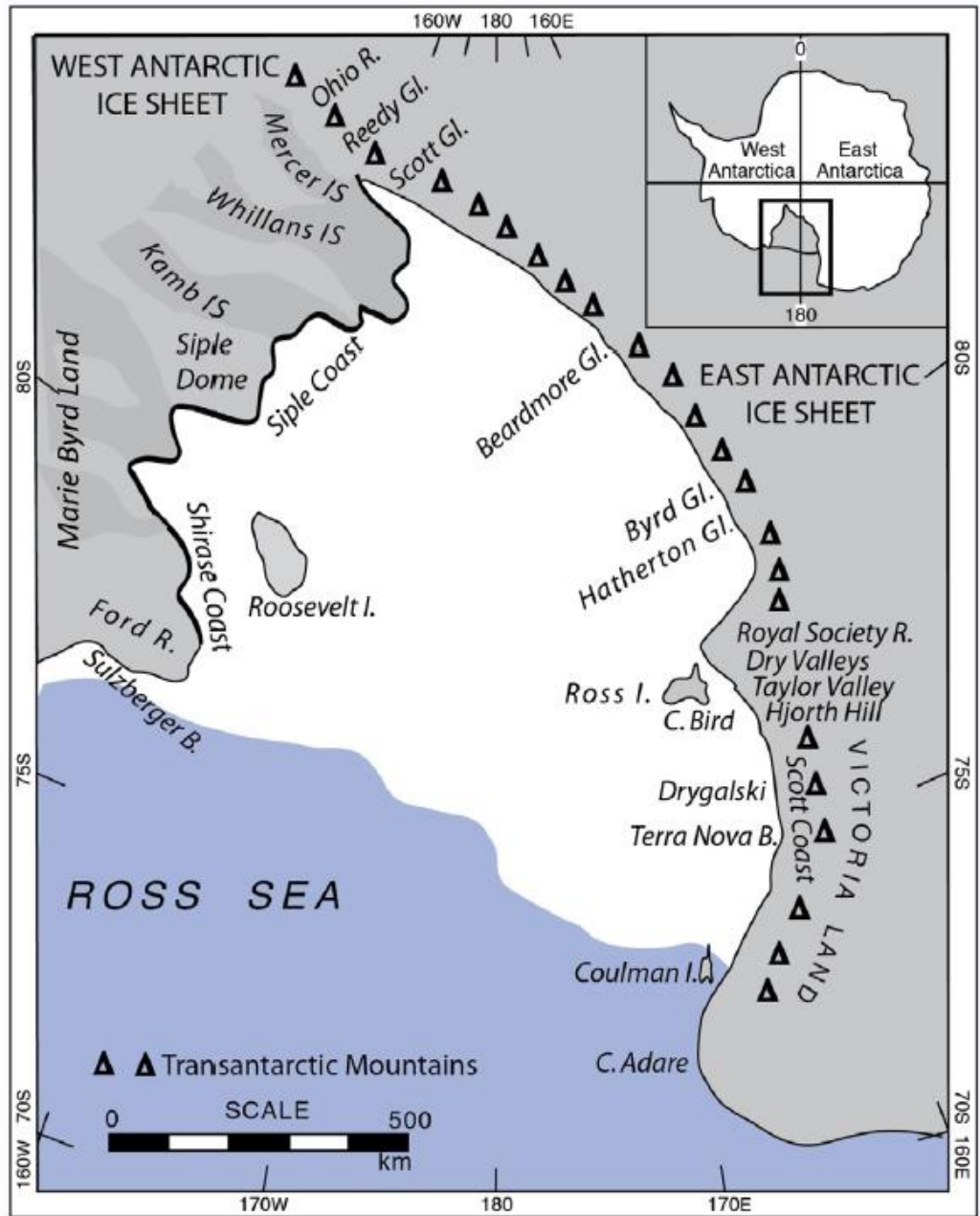


Fig. 3.3: Carta geografica del Mare di Ross (Anderson et al., 2013).

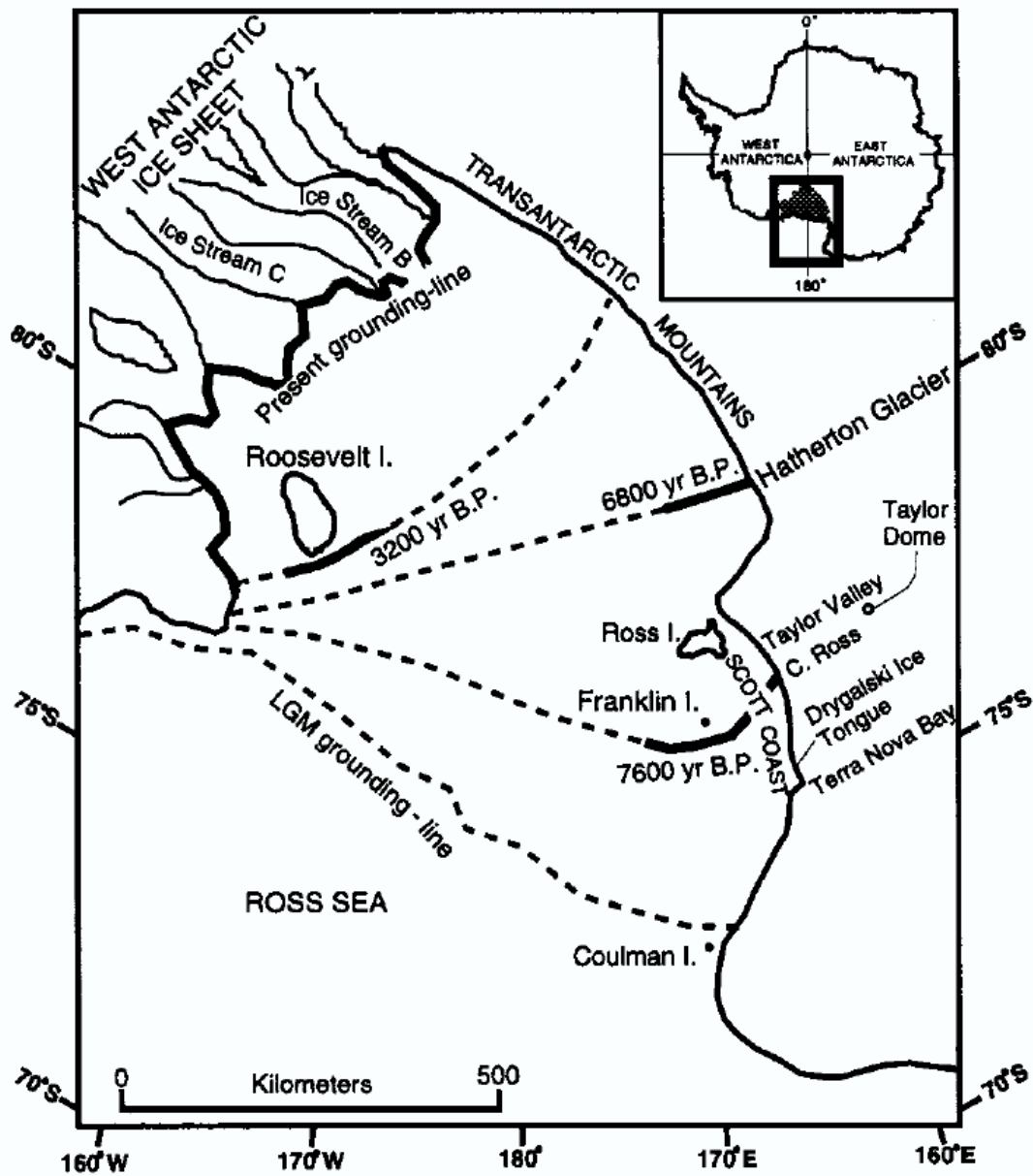


Fig. 3.4 : Mappa che mostra le posizioni con relativa età della linea di ancoraggio nella baia del Mare di Ross. Benché non siano note le posizioni dettagliate della linea di ancoraggio nel passato, le linee tratteggiate ne ricostruiscono il ritiro nel modo più semplice possibile ma coerente con le età fornite da Anderson et al., 2013, e Conway et al., 1999. (Immagine tratta da Conway et al., 1999)

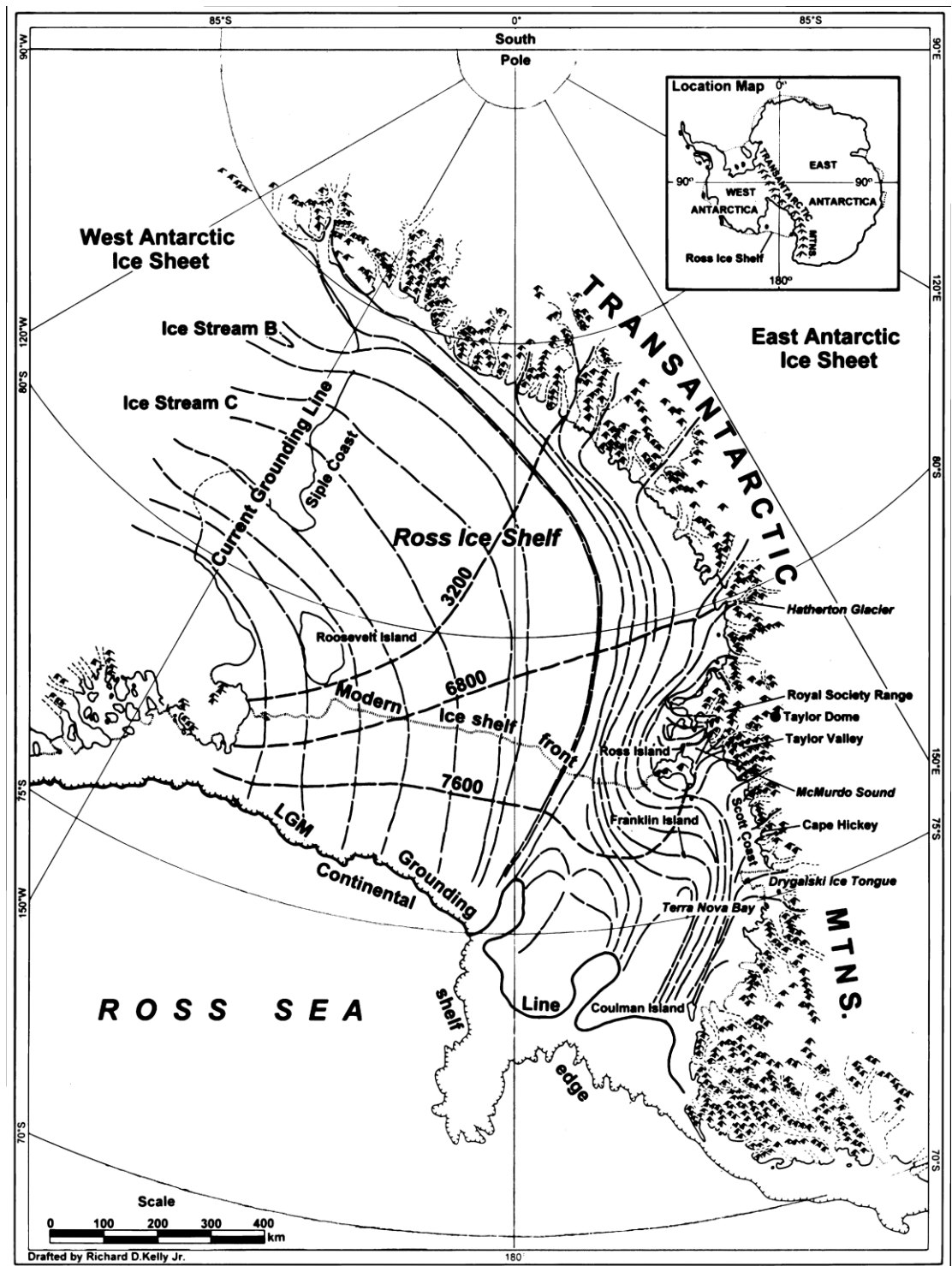
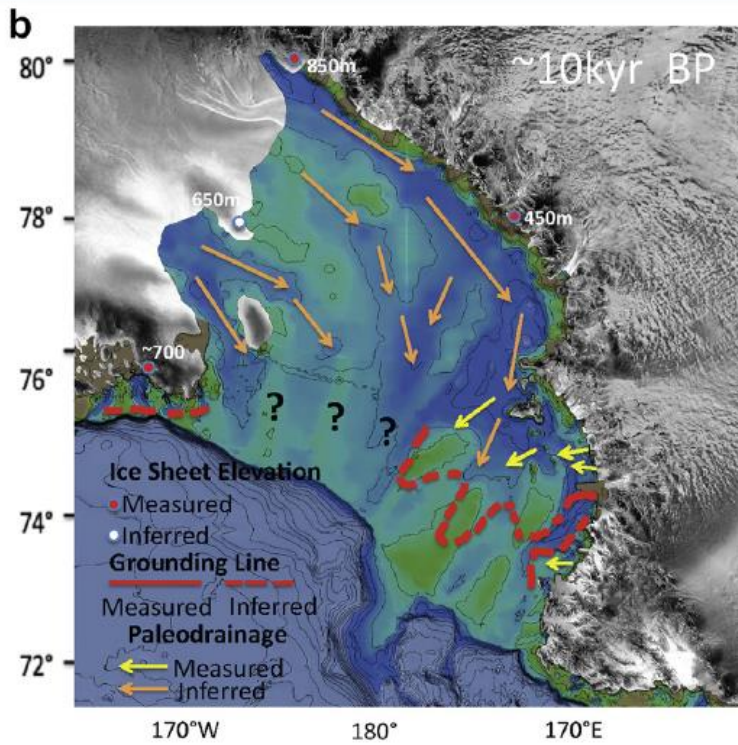
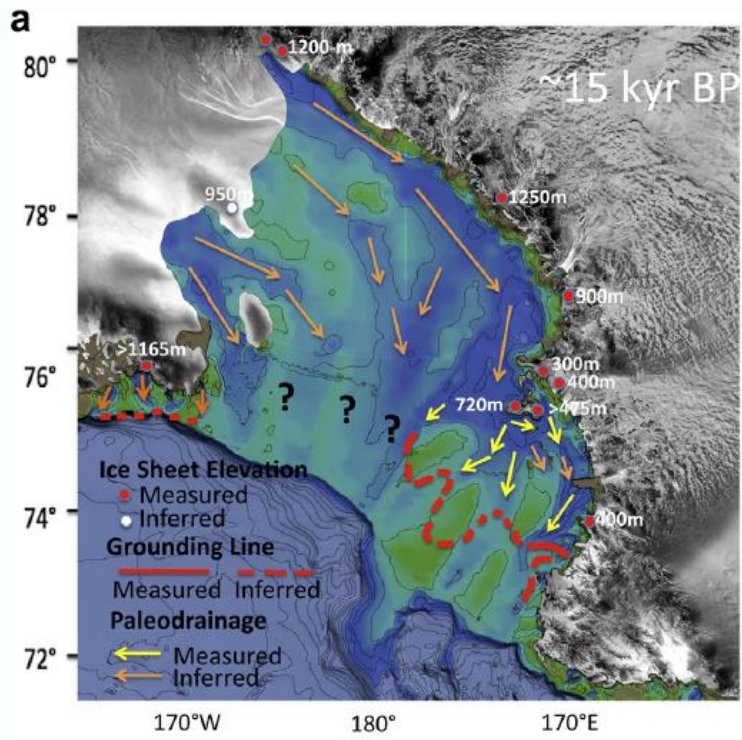


Fig. 3.5 (Denton & Hughes, 2000): recessione olocenica della linea di ancoraggio nella baia di Ross. Immagine adattata da Conway et al. (1999). I numeri si riferiscono all'età della recessione.



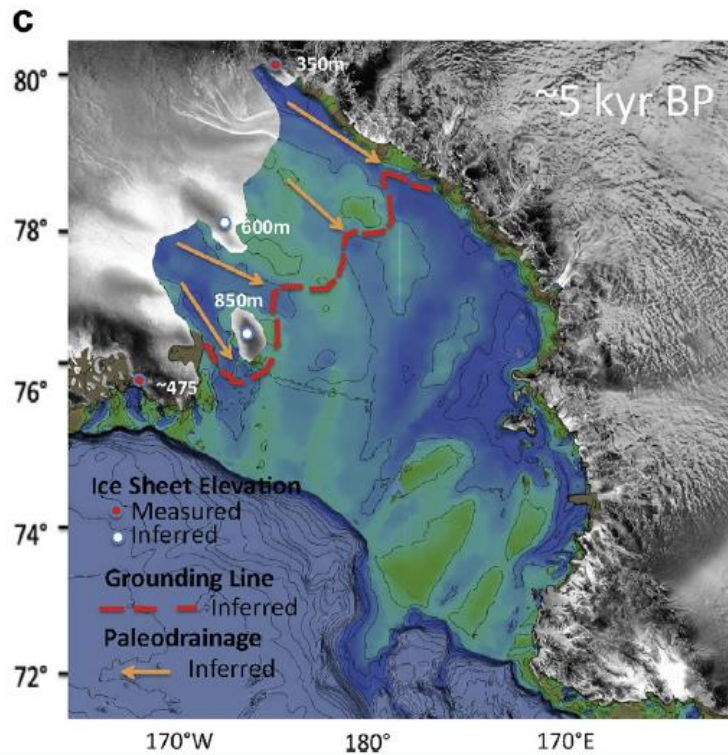


Fig. 3.6 (a), (b), (c): Processo di ritiro della calotta polare post LGM. Sono indicate l'elevazione del flusso glaciale, le linee di ancoraggio e le direzioni di paleoflusso a 15, 10 e 5 Ka.

Paleoflusso

Un modello concettuale della calotta polare antartica al LGM nel Mare di Ross sviluppato da Stuiver et al. (1981) prevede che la maggior parte dei ghiacci del Ross Ice Sheet provenga dal WAIS (Fig. 3.7) (Licht et al., 2005).

Licht & Fastook (1998) hanno riportato una simulazione numerica dell'avanzata e del ritiro dei ghiacci nel Mare di Ross (Licht et al., 1996, 1999; Fig. 3.7). I risultati del modello di Licht & Fastook (1998) differiscono da quelli di Stuiver et al. (1981) e indicano che i ghiacci derivanti dall'Antartide orientale dominano nel Mare di Ross occidentale e centrale, e che la confluenza con i ghiacci dall'Antartide occidentale ha luogo nel Mare di Ross centrale.

Una ricostruzione ad opera di Denton & Hughes (2000) basata sull'estensione e sull'elevazione dei ghiacci mostra linee di flusso simili al modello di Licht & Fastook (1998).

Molti studi (i.e., Hughes, 1977; Balshaw, 1980; Domack et al., 1999; Shipp et al., 1999) hanno concluso che i canali con trend NE-SW si erano formati grazie ai flussi glaciali entro il Ross Ice Sheet.

Alcuni studi hanno interpretato i canali con strutture relitte scavate da flussi glaciali dell'Antartide occidentale allargatisi all'interno della baia del Mare di Ross (Hughes, 1973; Shipp et al., 1999).

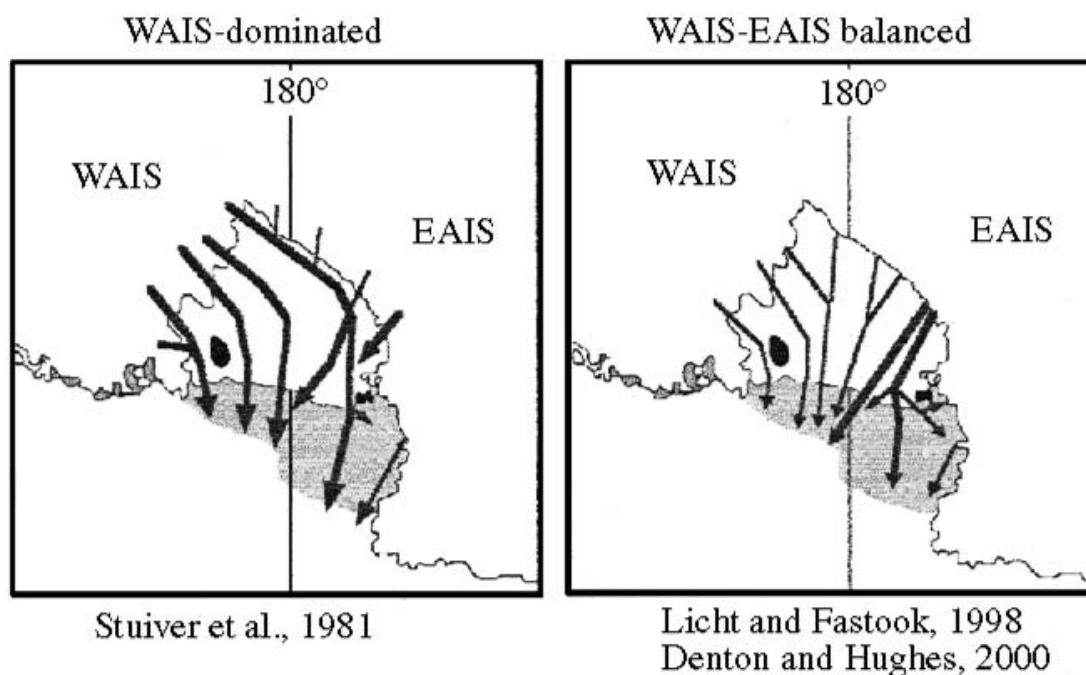


Fig. 3.7 (Licht et al., 2005) : ricostruzioni schematiche e semplificate che illustrano le differenze fondamentali tra il modello di paleoflusso proposto da Stuiver et al. (1981) e quello proposto da Licht & Fastook (1998) e da Denton & Hughes (2000). Le linee in grassetto indicano flussi con velocità maggiore. L'area ombreggiata indica la piattaforma continentale del Mare di Ross.

Lo studio effettuato da Licht et al. (2005) sulle carote indicate in fig. 3.9 ha portato a ipotizzare un altro modello di paleoflusso (Fig. 3.8), basato sulla mineralogia e sulla litologia del bacino del Mare di Ross, dell'Antartide orientale e occidentale.

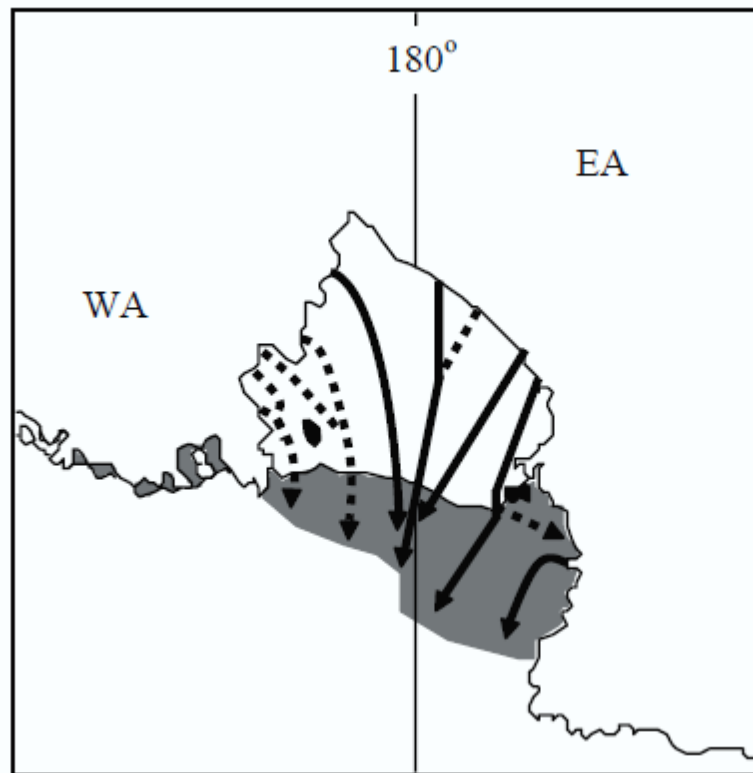


Fig. 3.8 (Licht et al., 2005) : ipotesi di paleoflusso per il Ross Ice Sheet durante il LGM. Le linee tratteggiate rappresentano i flussi dedotti ma non verificati, a causa della scarsità di campioni.

Studi di provenienza, Licht et al., 2013, 2014

Erosione e trasporto dal Byrd Glacier durante il LGM (Licht & Palmer, 2013)

Licht & Palmer (2013) hanno basato il loro studio su campioni di till (fig. 3.9) provenienti da sette morene oloceniche del Byrd Glacier. In particolare, sono state analizzate la granulometria, la petrografia dei sedimenti e l'età degli zirconi detritici; i dati sono stati quindi comparati ai tills del Mare di Ross depositatisi durante il LGM. Lo scopo era di identificare il paleoflusso per quanto riguarda il Byrd Glacier. La frazione sabbiosa grossolana dei tills del Byrd Glacier è dominata dai frammenti litici dei vicini affioramenti rocciosi. I tills del Byrd Glacier sono tipicamente più grossolani dei tills del Mare di Ross; le età U/Pb misurate sugli zirconi dei tills del Byrd Glacier (figg. 3.10, 3.12) variano in un intervallo tra 240 e 3540 Ma, con picchi significativi soprattutto tra 530 e 600 Ma. I campioni di till del Mare di Ross mostrano una variabilità spaziale nella distribuzione delle età U/Pb (figg. 3.11, 3.12): i campioni ad ovest dei 180° di longitudine sono simili a quelli del Byrd Glacier, mentre i campioni ad est dei 180° di longitudine presentano una maggioranza di zirconi di 100 Ma circa.

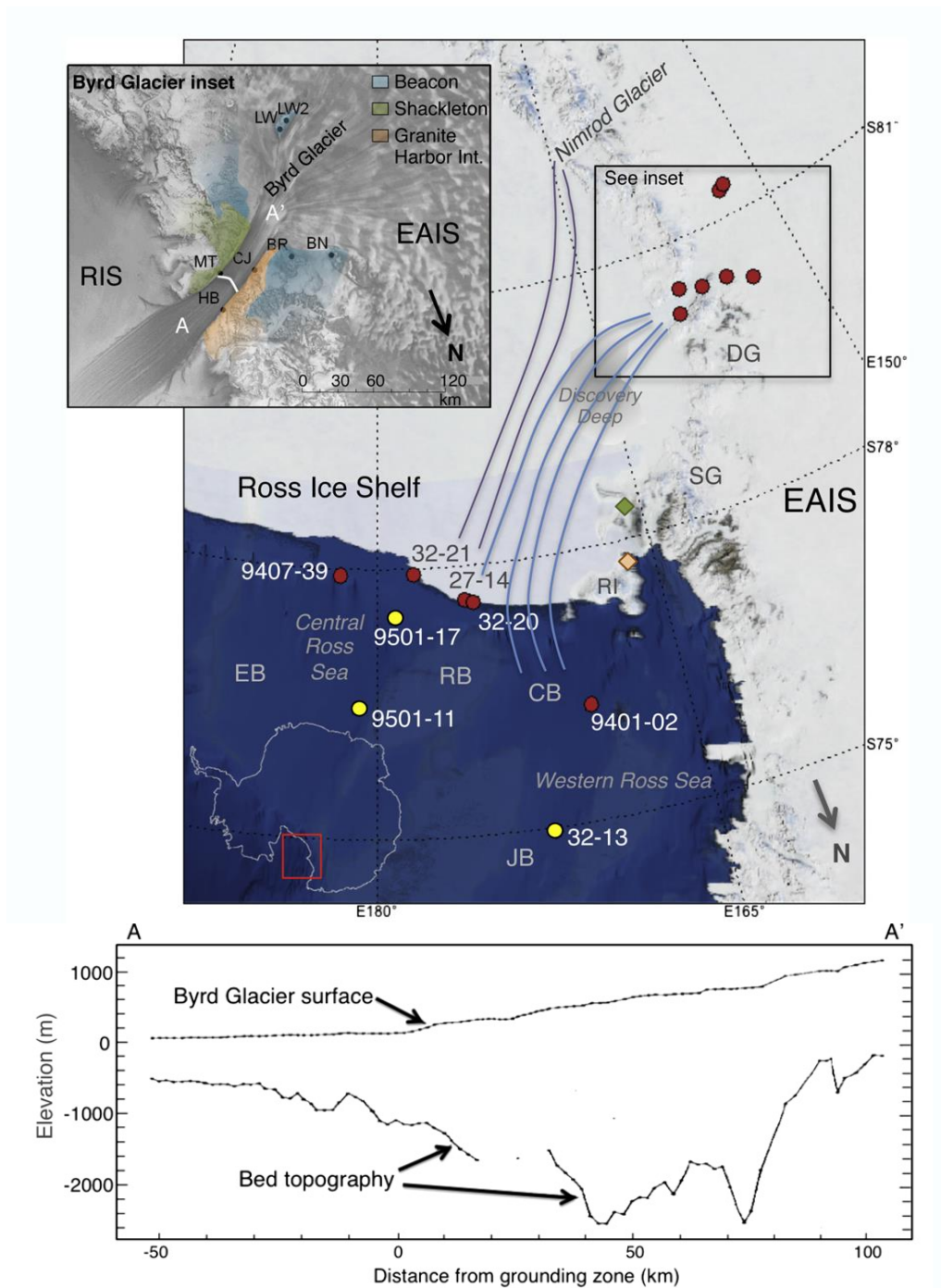


Fig. 3.9 (Licht et al., 2013): Mappa della baia di Ross, raffigurante i siti di campionamento nel Mare di Ross e nel Byrd Glacier. Il profilo in basso mostra la topografia del Byrd Glacier lungo l'asse del canale di Byrd.

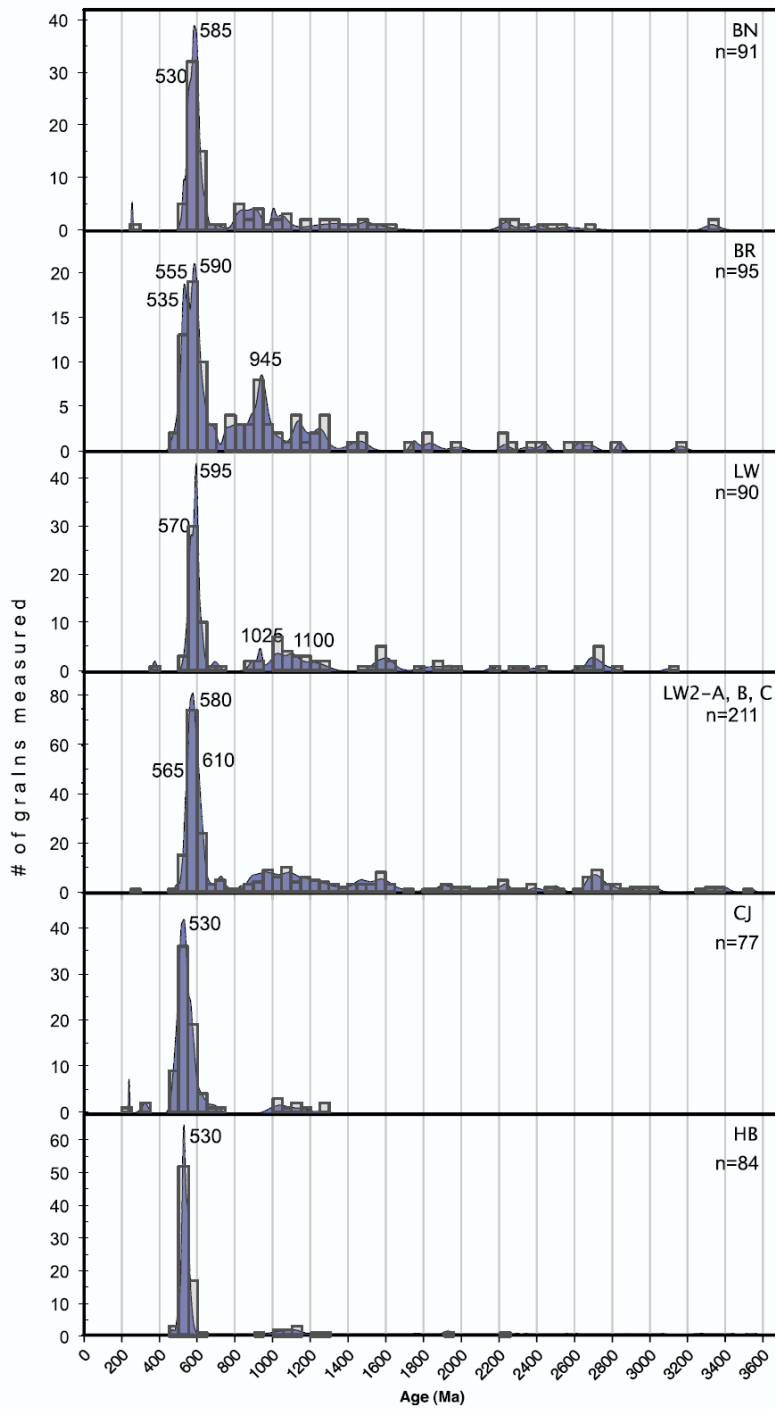


Fig. 3.10 (Licht et al., 2013) : istogrammi e probability density plots degli zirconi dei tills del Byrd Glacier. I dati sono stati ricavati dalle età U/Pb.

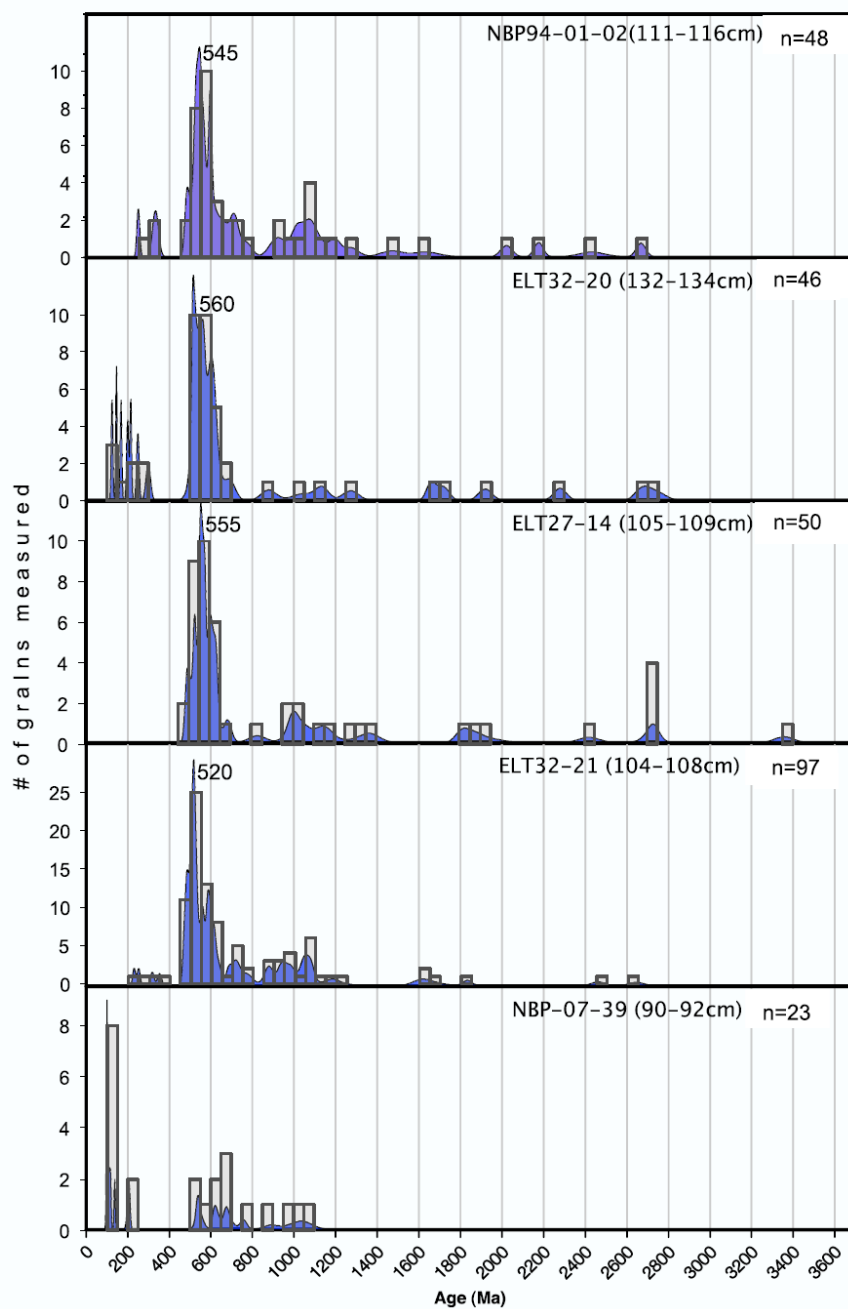


Fig. 3.11 (Licht et al., 2013) : istogrammi e probability density plots degli zirconi dei tills del Mare di Ross. I dati sono stati ricavati dalle età U/Pb.

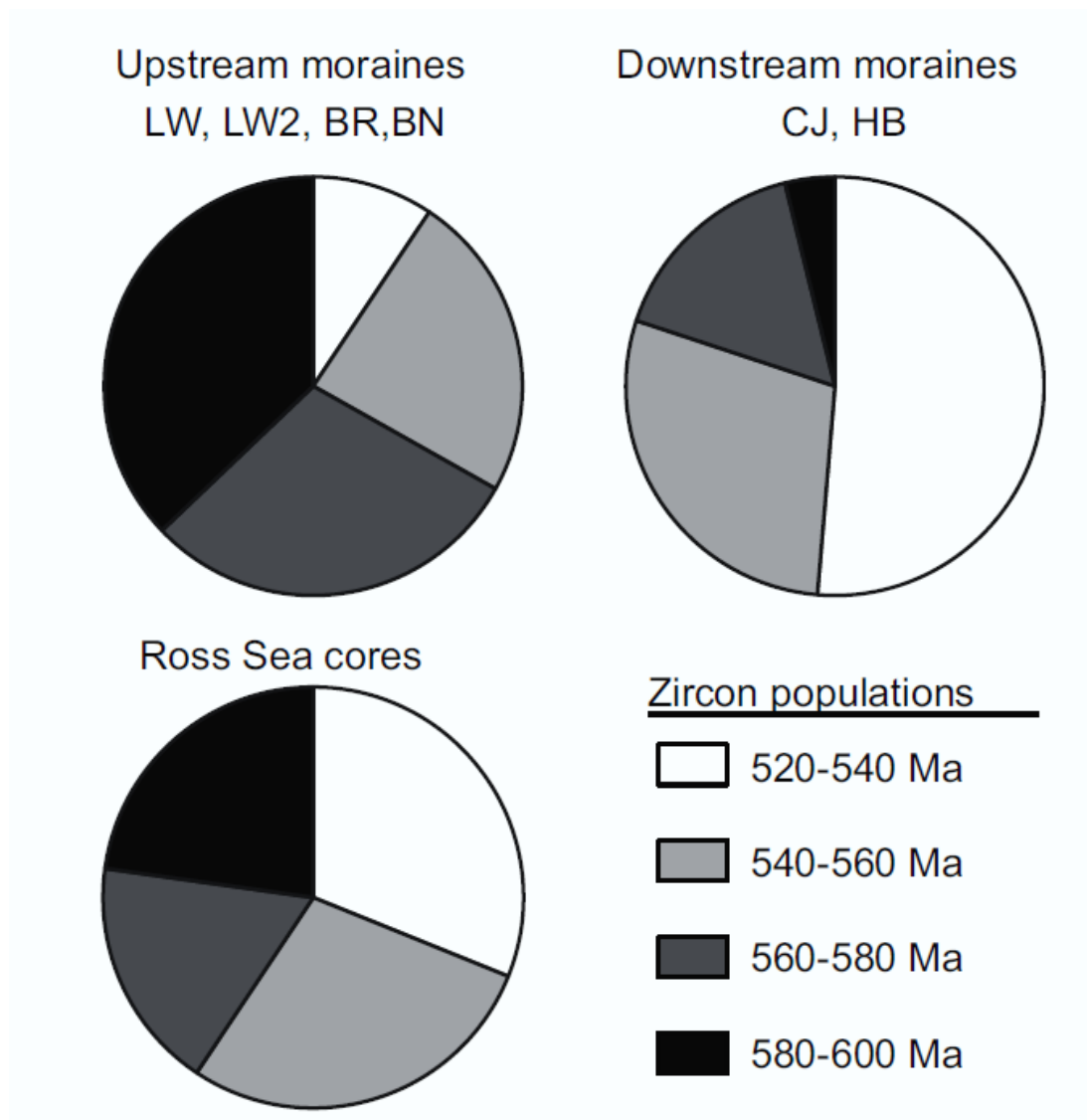


Fig. 3.12 (Licht et al., 2013): diagrammi a torta che mostrano la distribuzione delle età U/Pb degli zirconi dei tills del Byrd Glacier e del Mare di Ross.

Datazioni U-Pb su zirconi in tills di flussi glaciali dell'Antartide occidentale nella baia di Ross, con ricostruzioni di paleoflusso al LGM (Licht et al., 2014)

Gli zirconi dei campioni di till raccolti al di sotto del Bindschadler Ice Stream (BIS) e del Kamb Ice Stream (KIS) (Figg. 3.13, 3.14) mostrano una tipica firma U-Pb che permette loro di essere identificati anche nei tills del Mare di Ross (Fig. 3.15). Questi due siti contengono una popolazione di zirconi cretacei (100-110 Ma) che non è stata trovata nei tills orientali. In più, questi due flussi glaciali abbondano di grani ordoviciani (450-475 Ma). Queste prove di una ipotetica provenienza dal WAIS sono state ritrovate anche a est dei 180° di longitudine nei tills del Mare di Ross depositatisi durante il LGM. Il Whillans Ice Stream (WIS), considerato essere parte del WAIS ma originatosi parzialmente nel EAIS, manca di queste caratteristiche distintive, in quanto le sue popolazioni di zirconi mostrano età U-Pb intorno ai 500-550 Ma: ciò indica una provenienza dalle rocce intrusive del Granite Harbour, molto comune lungo le Transantarctic Mountains. La distribuzione delle età U-Pb negli zirconi del WIS è molto simile a quella del Mare di Ross centro-occidentale (Fig. 3.16).

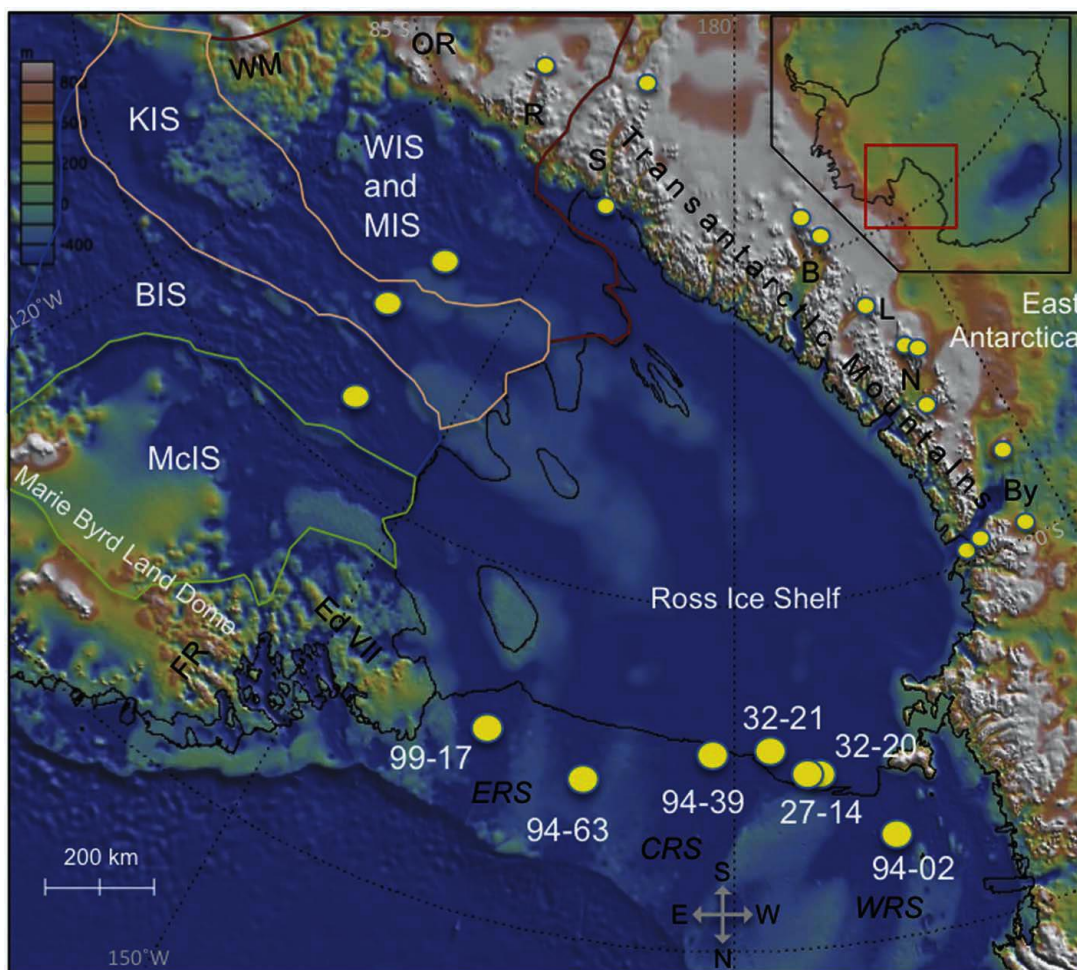


Fig. 3.13 (Licht et al., 2014): carta dell'area studiata (da GeoMapApp). I punti gialli mostrano i siti di campionamento.

B = Beardmore Glacier, BIS = Bindschadler Ice Stream, By = Byrd Glacier, CRS = Central Ross Sea, Ed VII = Edward VII Peninsula, ERS = Eastern Ross Sea, FR = Ford Ranges, KIS = Kamb Ice Stream, L = Law Glacier, McIS = MacAyeal Ice Stream, MIS = Mercer Ice Stream, N = Nimrod Glacier, OR = Ohio Range, R = Reedy Glacier, S = Scott Glacier, WIS = Whillans Ice Stream, WM = Whitmore Mountains, WRS = Western Ross Sea

Site name	Site label	Latitude	Longitude	Depth in core (cm)	Local bedrock
West Antarctic ice streams					
Bindschadler 98-2-1	BIS	-81.074	-140.005	NA	NA
Kamb 96-3-1	KIS	-82.446	-135.959	30-40, 40-50, 140-150, 180-190	NA
Whillans 89-1-4	WIS	-83.478	-138.246	10-20, 130-140, 160-170	NA
East Antarctic moraines					
Reedy Glacier	R	-86.486	-124.718	NA	Unknown metamorphic
Scott Glacier	S	-87.350	-149.922	NA	Buckley Formation*
		-85.467	-154.454	NA	Granite Harbour Intrusives
Beardmore Glacier	B	-85.625	167.295	NA	Victoria Group*
		-85.305	164.693	NA	Victoria Group*
Law Glacier	L	-84.130	160.980	NA	Victoria Group*
Nimrod Glacier	N	-83.283	156.037	NA	Nimrod Group & Granite Harbour Intrusives
		-83.295	156.741	NA	Nimrod Group & Granite Harbour Intrusives
		-82.432	158.121	NA	Beacon Supergroup
Byrd Glacier ^c	By	-81.341	152.679	NA	Devonian Beacon Supergroup
		-80.262	153.653	NA	Devonian Beacon Supergroup
		-80.402	157.134	NA	Granite Harbour Intrusives
		-80.209	159.143	NA	Granite Harbour Intrusives
Ross Sea cores					
NBP94-01-02 ^c	94-02	-76.284	169.704	111-126	NA
ELT32-20 ^c	32-20	-77.585	174.918	64-69, 132-137	NA
ELT27-14 ^c	27-14	-77.627	175.377	47-50, 63-66, 105-109, 164-170	NA
ELT32-21 ^c	32-21	-77.933	178.013	54-58, 104-108	NA
NBP94-07-39 ^c	94-39	-77.924	-177.982	52-54, 100-102	NA
NBP94-07-63	94-63	-77.327	-169.180	52-54, 112-114	NA
NBP99-02-17	99-17	-77.716	-161.862	104-106	NA

Fig. 3.14 (Licht et al., 2014): informazioni circa i siti e i campioni

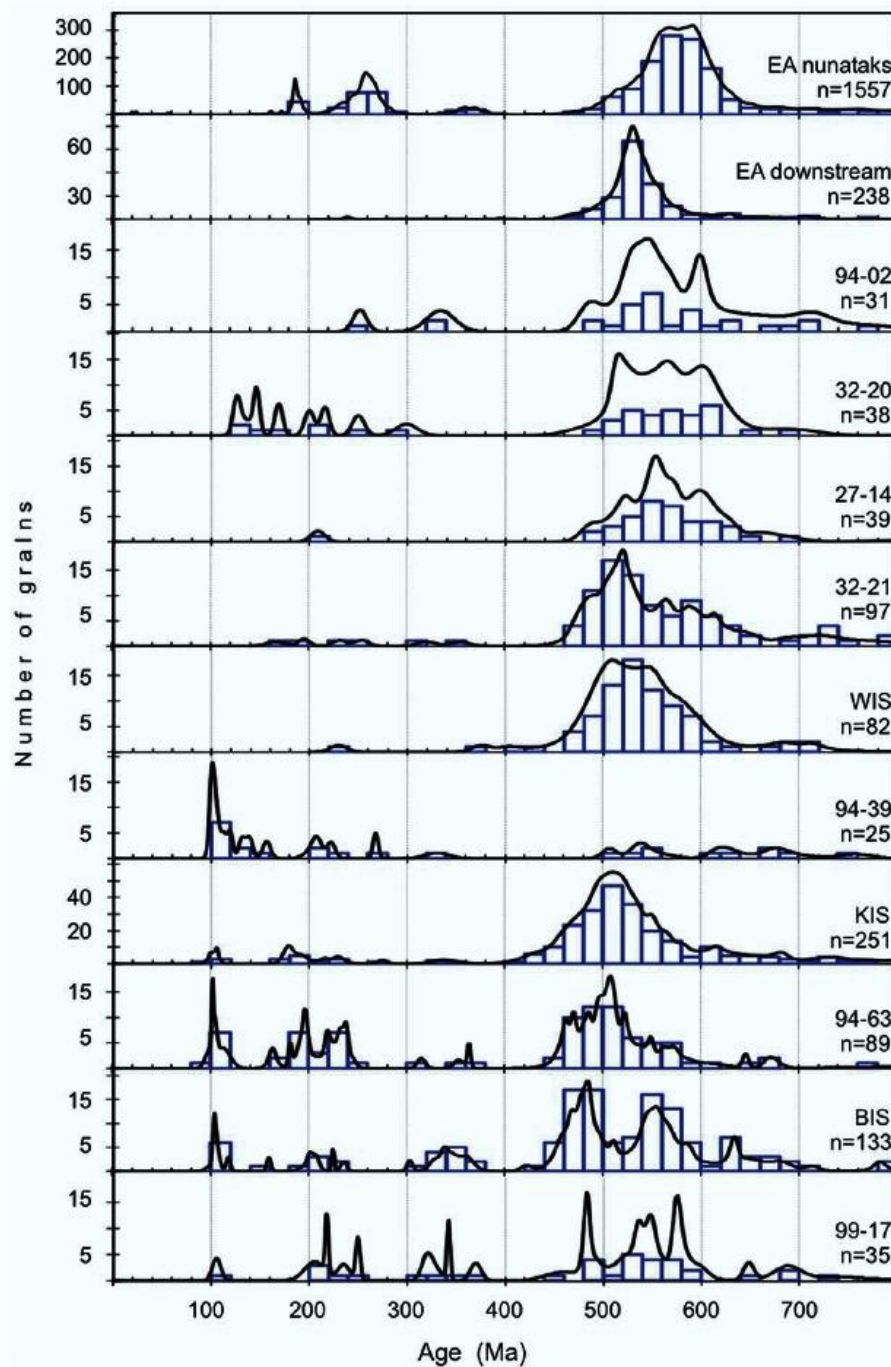


Fig. 3.15 (Licht et al., 2014): distribuzione delle età U/Pb degli zirconi provenienti dal Mare di Ross, dal WAIS e dal EAIS: i dati sono stati presentati mediante istogrammi e curve di densità (curve in nero). Si noti che la presenza di un picco a 100-110 ma è proprio solo dei siti del Mare di Ross ad est dei 180° di longitudine. Si fa riferimento unicamente ai grani con età inferiori agli 800 Ma.

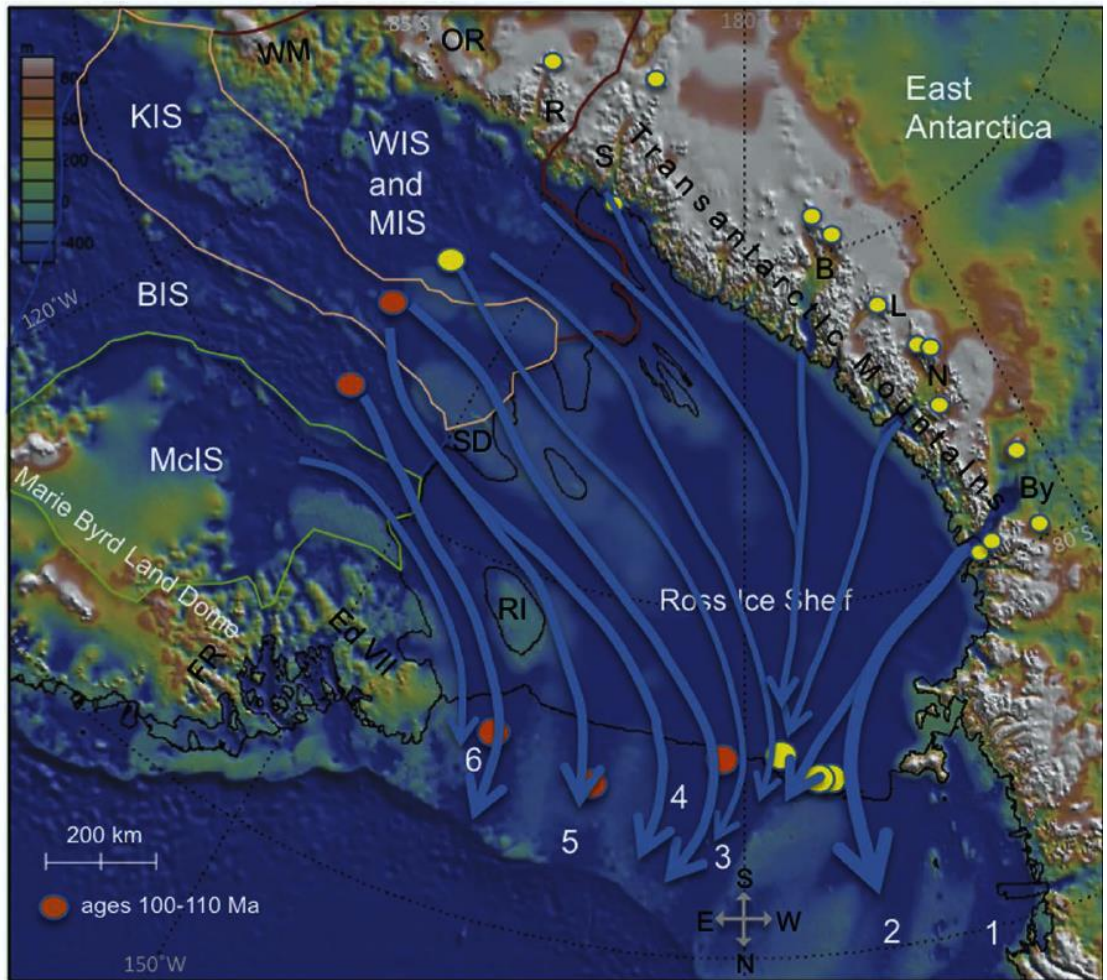


Fig. 3.16 (Licht et al., 2014): ricostruzione del paleoflusso del tardo Quaternario nella baia di Ross. I punti arancioni indicano i siti con età U/Pb di 100-110 Ma.

RI = Roosevelt Island, SD = Siple Dome

Nell'immagine qui di seguito (Fig. 3.17), sono stati segnati in blu i campioni di Licht et al. (2014), mentre i campioni analizzati in questo studio sono indicati in rosso.

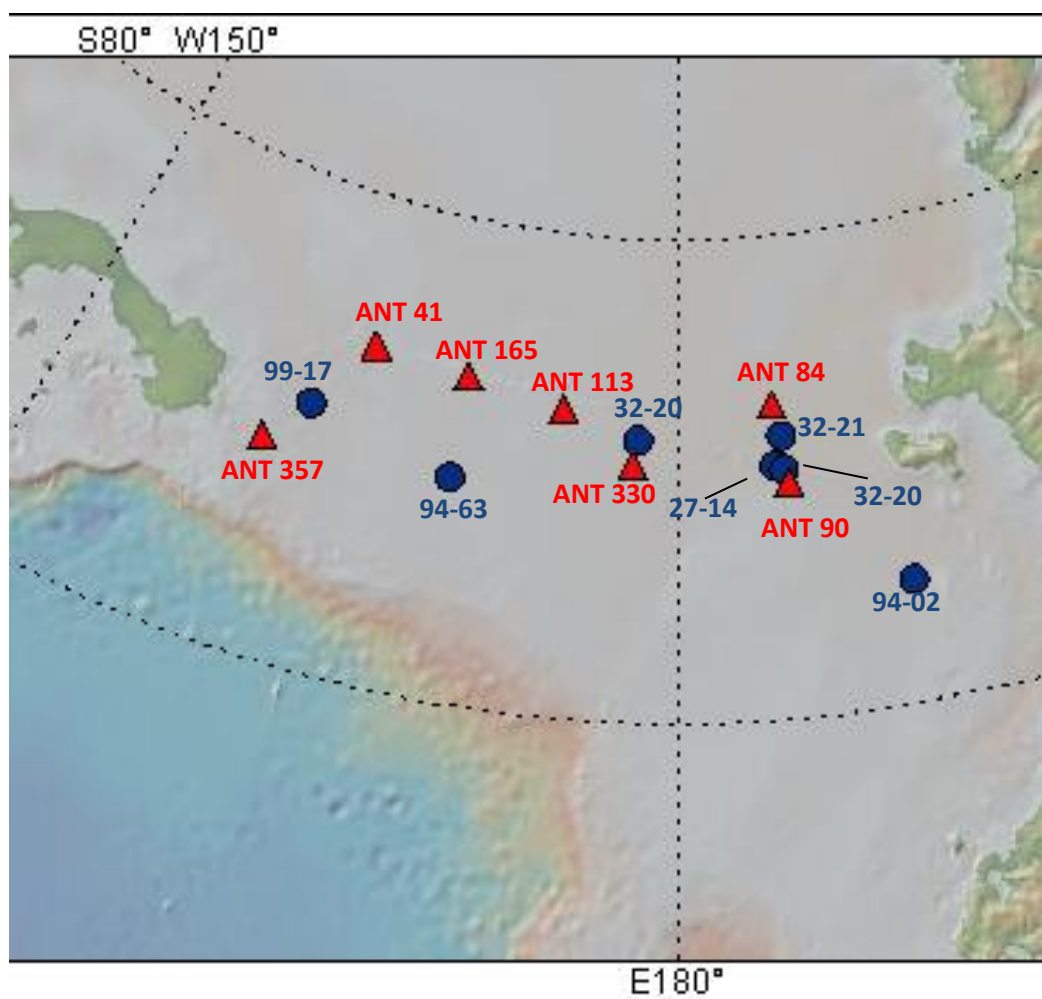


Fig. 3.17: ubicazione dei campioni dello studio di Licht et al. (2014), in blu, e dei campioni oggetto di questo studio, in rosso.

4. Metodologia e Lavorazione

Introduzione alla geocronologia U-Th-Pb

Il sistema U-Pb è basato sul decadimento del U e del Th in Pb, come descritto qui di seguito:

- $^{238}\text{U} \Rightarrow ^{206}\text{Pb}^*$ con emivita di 4.468 Ga
- $^{235}\text{U} \Rightarrow ^{207}\text{Pb}^*$ con emivita di 0.704 Ga
- $^{232}\text{Th} \Rightarrow ^{208}\text{Pb}^*$ con emivita di 14.01 Ga

Le età vengono calcolate in questo modo: $T^{206/238} = \text{Ln}((^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} + 1)/^{238}\lambda)$

Poiché $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ è costante nelle rocce cristalline (137.88; Steiger & Jager, 1977), i due sistemi $\text{U} \Rightarrow \text{Pb}$ sono coordinati e possono essere plottati in un diagramma Concordia (Fig. 4.1 ;Wetherill, 1956). In questo diagramma:

- le analisi, in cui $^{238}\text{U} \Rightarrow ^{206}\text{Pb}^*$ e $^{235}\text{U} \Rightarrow ^{207}\text{Pb}^*$ mostrano le stesse età, giacciono sulla curva Concordia e vengono chiamate concordanti
- le analisi che giacciono fuori dalla curva sono dette discordanti.

Visto che $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ è costante, è possibile anche determinare un'età solo misurando $^{206}\text{Pb}^*$ e $^{207}\text{Pb}^*$, ovvero la pendenza della retta che unisce l'origine al punto sulla Concordia. L'età viene calcolata come segue:

$$^{206}\text{Pb}^*/^{207}\text{Pb}^* = 137.88[(e^{\lambda_1 t} - 1)/(e^{\lambda_2 t} - 1)]$$

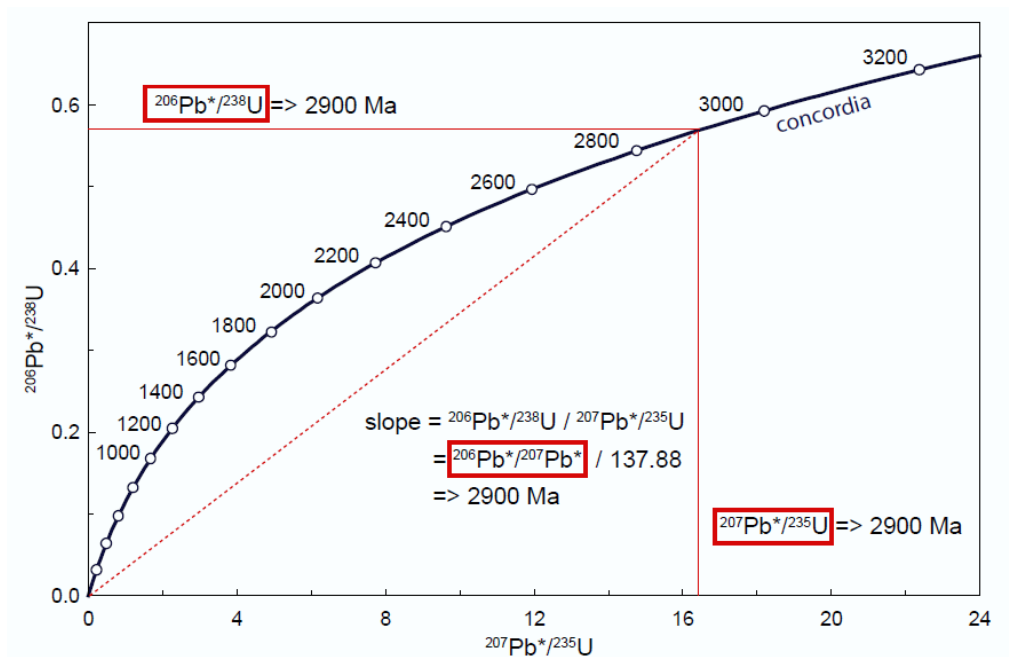


Fig. 4.1 : (Gehrels, 2010) Diagramma Concordia che mostra le età $^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ e $^{206}\text{Pb}^*/^{207}\text{Pb}^*$ per un'analisi concordante. Se le tre età non sono equivalenti, le analisi saranno fuori dalla curva e quindi saranno discordanti.

In pratica, per collocare un'analisi nel diagramma Concordia, si misura $^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ e $^{206}\text{Pb}^*/^{207}\text{Pb}^*$, dato che questi due rapporti possono essere calcolati con un ottimo grado di accuratezza. $^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ è più difficile da misurare poiché ^{235}U è sempre meno abbondante del ^{238}U , e non è necessario calcolarlo dato che $^{235}\text{U} = ^{238}\text{U}/137.88$.

Il sistema Pb/Th non è direttamente relazionato al sistema Pb/U poiché U e Th hanno comportamenti chimici diversi. Le relazioni mostrate in un diagramma Pb/Th su Pb/U non sono lineari. Le misure Pb/Th solitamente non vengono riportate poiché è più difficile calcolare Pb/Th rispetto a Pb/U, e la minore abbondanza del Th e la sua lunga emivita lo rendono un cronometro poco sensibile nella maggior parte dei minerali. Al contrario, per la monazite, è preferibile calcolare Pb/Th rispetto a Pb/U, dato che Th è più abbondante di U.

Il sistema Pb/U può essere disturbato da:

- Perdita di Pb: quando subiscono alte temperature o vengono a contatto con fluidi idrotermali, i minerali tendono a perdere Pb, mentre U resta circa immobile. Questo porta ad un abbassamento di Pb^*/U e perciò le età risultano più giovani. La traiettoria della perdita di Pb rimane retta e collega l'età di cristallizzazione e quella di perdita di Pb (Fig. 4.2).

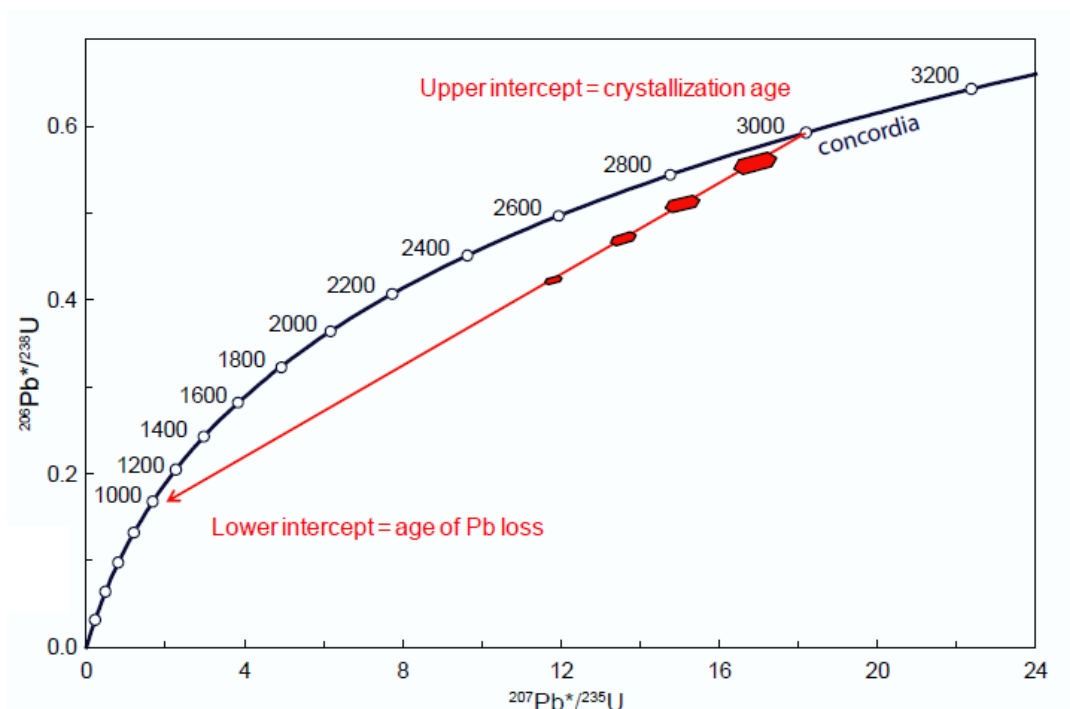


Fig. 4.2 : (Gehrels, 2010) Diagramma Concordia che mostra la perdita di Pb

- Eredità: i minerali resistenti alla fusione, ad esempio lo zircone, possono comunemente derivare da rocce cristalline antiche ma essere presenti in corpi ignei più giovani. Questo si rispecchia di solito in un nucleo più vecchio con bordi più recenti. In questo caso i cristalli saranno discordanti e giaceranno su una linea con una componente legata all'età della roccia ignea e una legata all'età della roccia cristallina (Fig. 4.3)

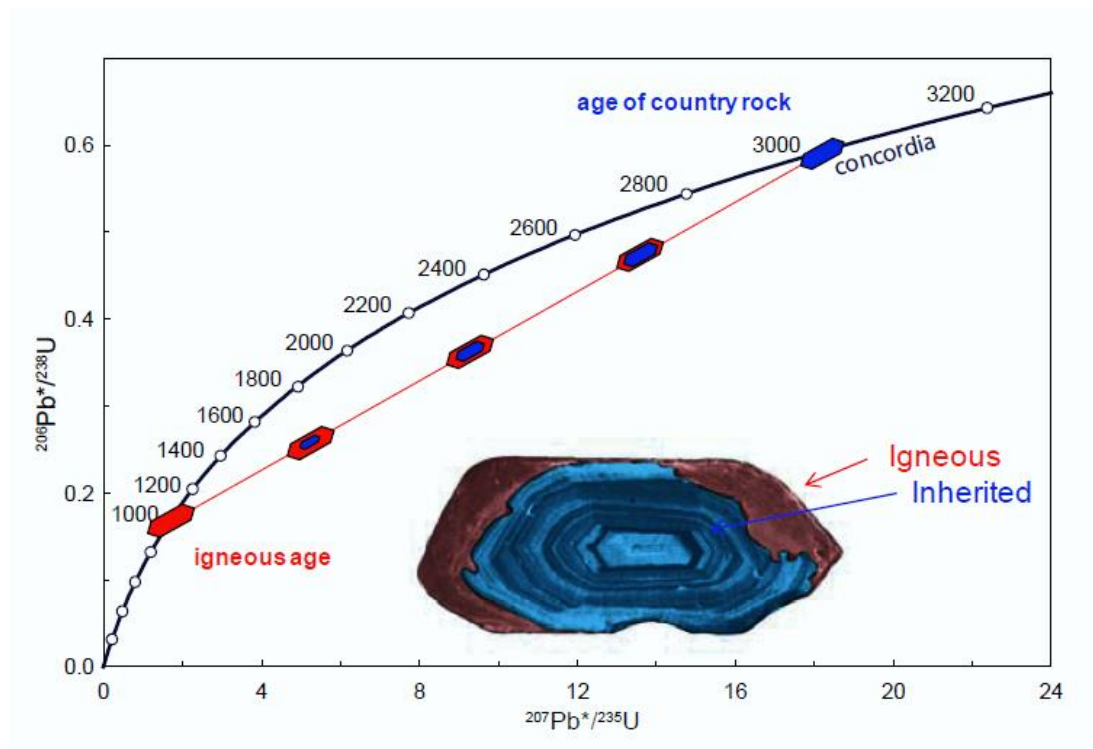


Fig. 4.3: (Gehrels, 2010) Diagramma Concordia che mostra l'eredità.

Le misure U-Th-Pb possono essere effettuate con uno spettrometro di massa a ionizzazione termica se i minerali sono stati dissolti e gli elementi separati, o con uno spettrometro di massa ICP a laser ablation (LA-ICP-MS).

Una volta preparata la strumentazione, i campioni vengono analizzati con il supporto di campioni standard.

I dati vengono acquisiti in due fasi durante ogni analisi: una misura iniziale del background, con il laser spento, e, in seguito, una misura delle intensità dei picchi con il laser in funzione.

Le incertezze che si sviluppano durante il processo possono essere errori interni, se sono rilevanti solo per analisi individuali, oppure errori esterni, se sono rilevanti per gruppi di analisi.

Le età sono determinate, per un gruppo di analisi, per mezzo di una media pesata

che tiene conto anche di ogni intervallo di incertezza. L'età risultante viene verificata dando maggiore importanza alle analisi con errori più contenuti, mentre le analisi con errori più ampi hanno un impatto minore.

Metodo U-Th-Pb per gli zirconi

Lo zircone è un ottimo minerale per la geocronologia con U-Th-Pb poiché presenta le seguenti proprietà:

- alta concentrazione di U (di solito 100-1000 ppm)
- moderata concentrazione di Th (di solito 10-100 ppm)
- bassa concentrazione di Pb durante la cristallizzazione (ppt)
- cresce a temperature di 600-1100 °C ma mantiene Pb fino a temperature maggiori di 800 °C, perciò registra la cristallizzazione
- è comune in rocce felsiche e rocce magmatiche intermedie
- è resistente meccanicamente e chimicamente
- contiene altri elementi che forniscono informazioni complementari (Hf, Li, O, REE, He)

Le applicazioni tipiche della geocronologia con U-Th-Pb includono:

- determinazione dell'età di cristallizzazione di rocce vulcaniche e plutoniche
- determinazione della provenienza di rocce sedimentarie basata sull'età U-Pb e sul contenuto U/Th negli zirconi
- determinazione della massima età deposizionale di una roccia sedimentaria basata sull'età più giovane degli zirconi

FASI DI LAVORAZIONE:

- 1) Separazione fisica per granulometria
- 2) Separazione per densità (collaborazione con Sandra Boesso)
- 3) Separazione magnetica (eseguita da dott.ssa Benedetta Andreucci)
- 4) Selezione di 7 campioni
- 5) Isolamento di porzioni con un maggior numero di zirconi in ogni campione al microscopio ottico a trasmissione
- 6) Preparazione di pasticche di resina con i cristalli scelti (eseguita da dott. Leonardo Tauro)
- 7) Fotografie dei mounts al microscopio ottico a trasmissione
- 8) Fotografie di ogni zircone in catodoluminescenza, al SEM del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) – Istituto di Geoscienze e Georisorse Unità di Pavia (collaborazione con dott. Antonio Langone)
- 9) Laser Ablation e calcolo del rapporto U/Pb per mezzo del LA-ICP-MS del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) – Istituto di Geoscienze e Georisorse Unità di Pavia (collaborazione con dott. Antonio Langone)

1) Separazione fisica per granulometria

I campioni iniziali si presentavano sotto forma di sedimenti sciolti o parzialmente consolidati in bustine di plastica.

Per la preparazione dei campioni, si è proceduto innanzitutto con la separazione delle varie fasi granulometriche. Si posiziona il campione in un becher e lo si fa sciogliere per mezzo di poca acqua distillata calda; poi si riempie interamente il becher. Le sabbie e le ghiaie decantano dopo 30 secondi, quindi, atteso quel lasso di tempo, si può procedere versando l'acqua di questo primo becher in un altro becher. Si continua con il "lavaggio" del campione finché l'acqua dopo 30 secondi non è completamente pulita. Negli altri becher dopo circa un paio d'ore decanterà argilla: per questa parte del progetto si considerano solo le granulometrie maggiori di 63 μm . Questo procedimento di "lavaggio" è stato svolto per tutti i campioni (Fig. 4.4 e Fig. 4.5) con la collaborazione di Giulia Vianello.

La parte più grossolana, ovvero sabbie e ghiaie, è stata in seguito setacciata, in modo da tenere solamente granulometrie comprese tra i 63 μm e i 2 mm.



Fig. 4.4: campioni di sedimento in bustine di plastica



Fig. 4.5: campioni posizionati in becher

In alcuni campioni sono state trovate spicole di spugna, come si può vedere in fig. 4.6.



Fig. 4.6: campione contenente spicole di spugna

In seguito i campioni sono stati posti in forno ad essiccare per circa un giorno ad una temperatura inferiore a 40°C (Fig. 4.7).



Fig. 4.7: campioni posizionati in forno ad essiccare

2) Separazione per densità

In seguito si procede con la separazione per densità con il politungstato di sodio (Fig. 4.8 e fig. 4.9), $\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}) \cdot \text{H}_2\text{O}$: la porzione di ogni campione con densità maggiore di quella del politungstato di sodio (ovvero $2,98 \text{ g/cm}^3$) sarà quella contenente zirconi.

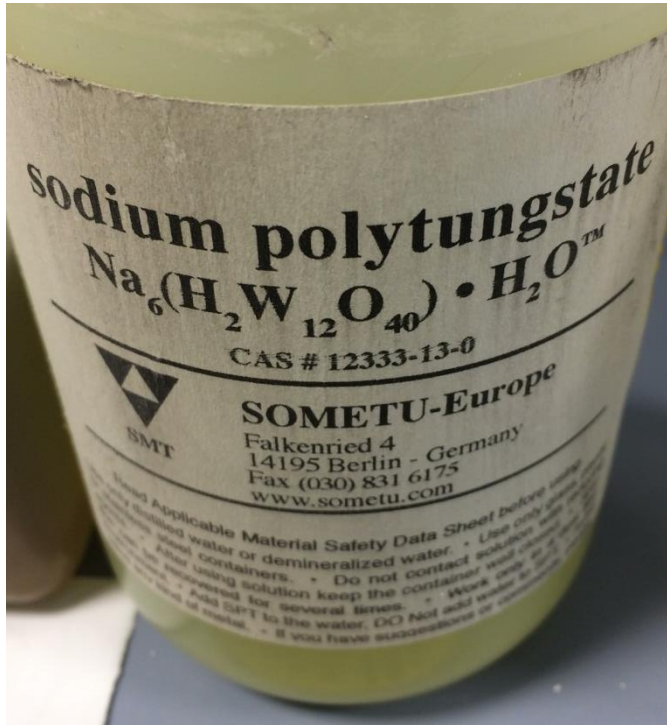


Fig. 4.8: politungstato di sodio usato per la separazione



Fig. 4.9: processo di separazione per densità.

3) Separazione magnetica

Il passo successivo richiede la separazione tra minerali diamagnetici e paramagnetici al Frantz prima a 0,4 A e poi a 1,2 A. Gli zirconi si vanno a concentrare nella frazione diamagnetica dei campioni.

4) Selezione di sette campioni

Il lavoro successivo è incentrato su 7 campioni: ant 41, ant 84, ant 90, ant 113, ant 165, ant 330 e ant 357. Qui di seguito sono elencate le caratteristiche di ogni campione selezionato (Tab. 4.1 , tab. 4.2 e tab. 4.3)

Cruise	Sample	Core	Type
DF83	Ant 41	014-PC	core, piston
DF78	Ant 84	012-PC	core, piston
DF76	Ant 90	001-PC	core, piston
DF76	Ant 113	003-PC	core, piston
ELT32	Ant 165	024-PC	core, piston
NBP94-07	Ant 330	051-PC	core, piston
NBP96-01	Ant 357	010-JPC	core, piston

Tab. 4.1: caratteristiche dei campioni selezionati

Sample	Bottom	Top	Longitude
Ant 41	231	236	-164.143
Ant 84	245	248	175.25
Ant 90	280	287	174.8
Ant 113	612	616	-174.183
Ant 165	416	420	-169.133
Ant 330	100	105	-177.789
Ant 357	188	190	-160.114

Tab. 4.2: caratteristiche dei campioni selezionati

Sample	Latitude	Water depth	Core length	Core diam
Ant 41	-78.48	601	277	6
Ant 84	-78.267	538	271	6
Ant 90	-77.45	695	544	6
Ant 113	-78.2	558	671	6
Ant 165	-78.4	565	433	6
Ant 330	-77.659	678	125	
Ant 357	-77.234	493	190	

Tab. 4.3: caratteristiche dei campioni selezionati

5) Isolamento di zirconi allo stereomicroscopio ottico a trasmissione

La porzione rimasta dei sette campioni scelti viene messa a bagno nell'alcol etilico su un vetrino e studiata allo stereomicroscopio ottico a luce trasmessa: lo scopo è di isolare il meglio possibile gli zirconi presenti. Non si tratta però di picking, poiché in questo modo sarebbe impossibile non praticare una selezione: quello che invece interessa in questo studio è avere una visione dell'intero spettro di zirconi presenti, indipendentemente dall'aspetto dei cristalli.

Alla fine i cristalli selezionati sono stati posizionati su del nastro biadesivo e preparati per la fase successiva.

6) Preparazione di pasticche di resina

Le pasticche, di spessore 5 mm, preparate con resina epossidica bicomponente, sono state levigate prima con abrasivo in carburo di silicio da 14 μm e poi con abrasivo, sempre in carburo di silicio, da 22 μm . I campioni sono stati poi ripuliti per mezzo di ultrasuoni.

In seguito, le pasticche sono state lucidate grazie a due lucidatrici a 250 rpm: prima con abrasivo da 6 μm e poi da 1 μm . Sono state infine rifinite con una lucidatrice a vibrazioni.

7) *Fotografie dei mounts allo stereomicroscopio ottico*

Sono state poi realizzate mappe fotografiche dei campioni, così da facilitare le successive analisi.

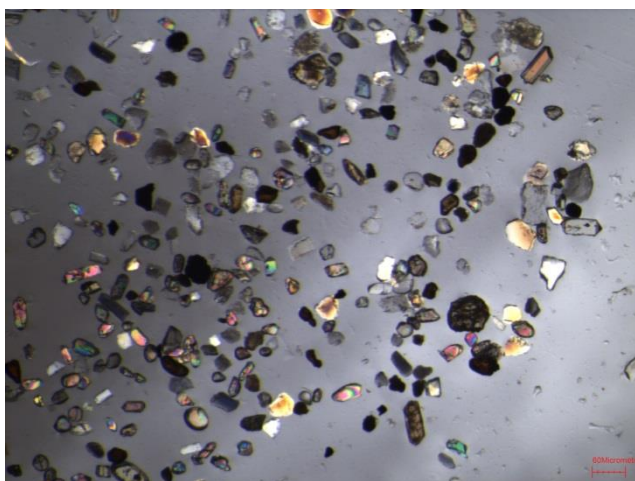


Fig. 4.10: Ant 41

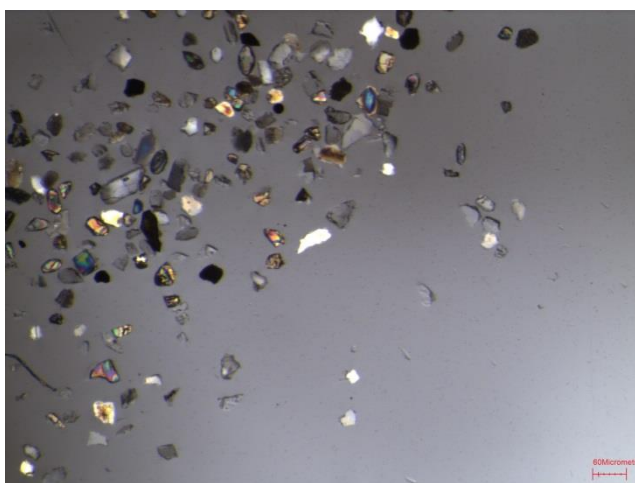
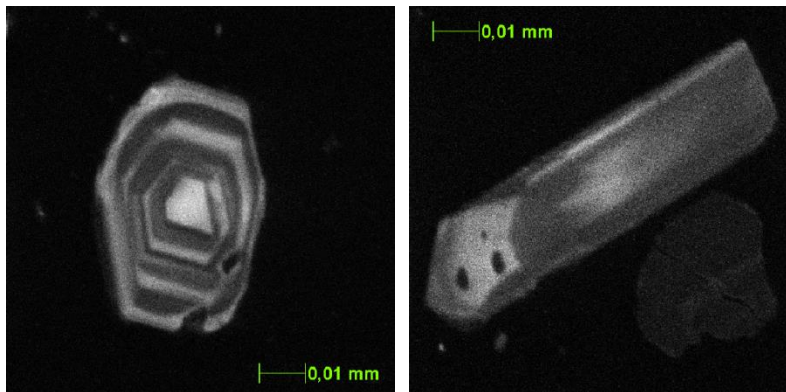


Fig. 4.11: Ant 113

8) Fotografie in catodoluminescenza, al SEM del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) – Istituto di Geoscienze e Georisorse Unità di Pavia

Prima della determinazione dell'età, la struttura interna degli zirconi è stata investigata con la microscopia a elettroni retrodiffusi (BSE) e con la catodoluminescenza (CL) mediante l'utilizzo di un microscopio elettronico Philips XL30 equipaggiato con un detector Centaurus per CL. Questa procedura è stata portata a termine previa grafitizzazione dei campioni; le immagini sono state ottenute lavorando a 15 kV (potenziale di accelerazione) e a 25 mm (distanza di lavoro) (Langone et al., 2014).

Ant41



Ant 84

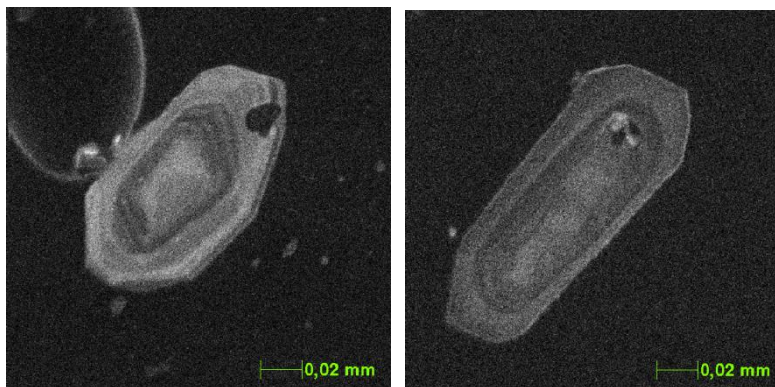
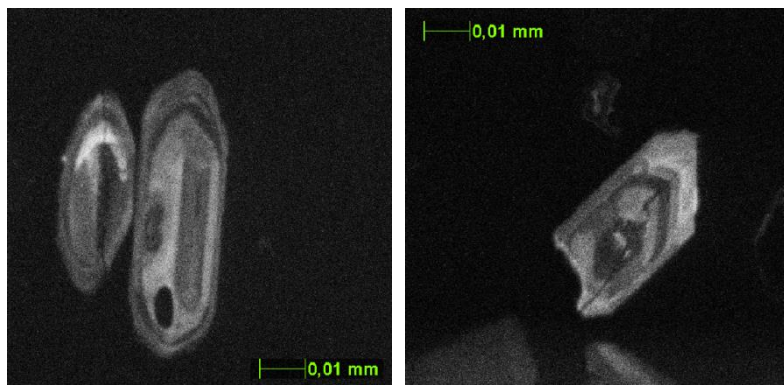
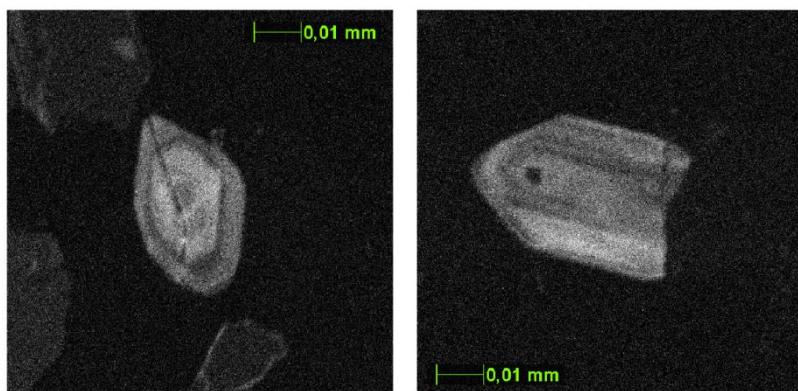


Fig. 4.12: fotografie in catodoluminescenza di zirconi nei campioni Ant 41 e Ant 84

Ant 113



Ant 90



Ant 330

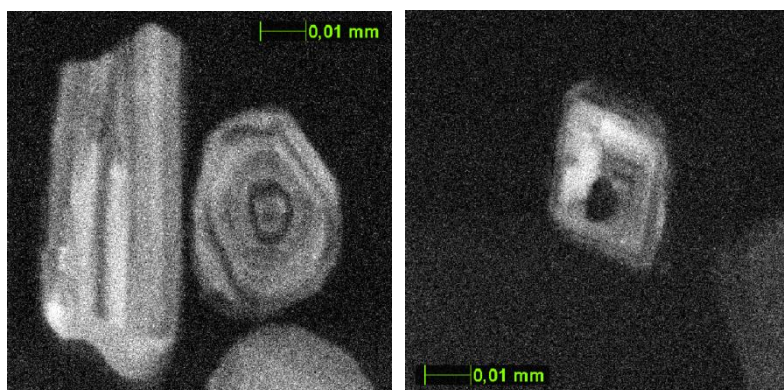


Fig. 4.13: fotografie in catodoluminescenza di zirconi nei campioni Ant 113, Ant 90 e Ant 330

Ant 165

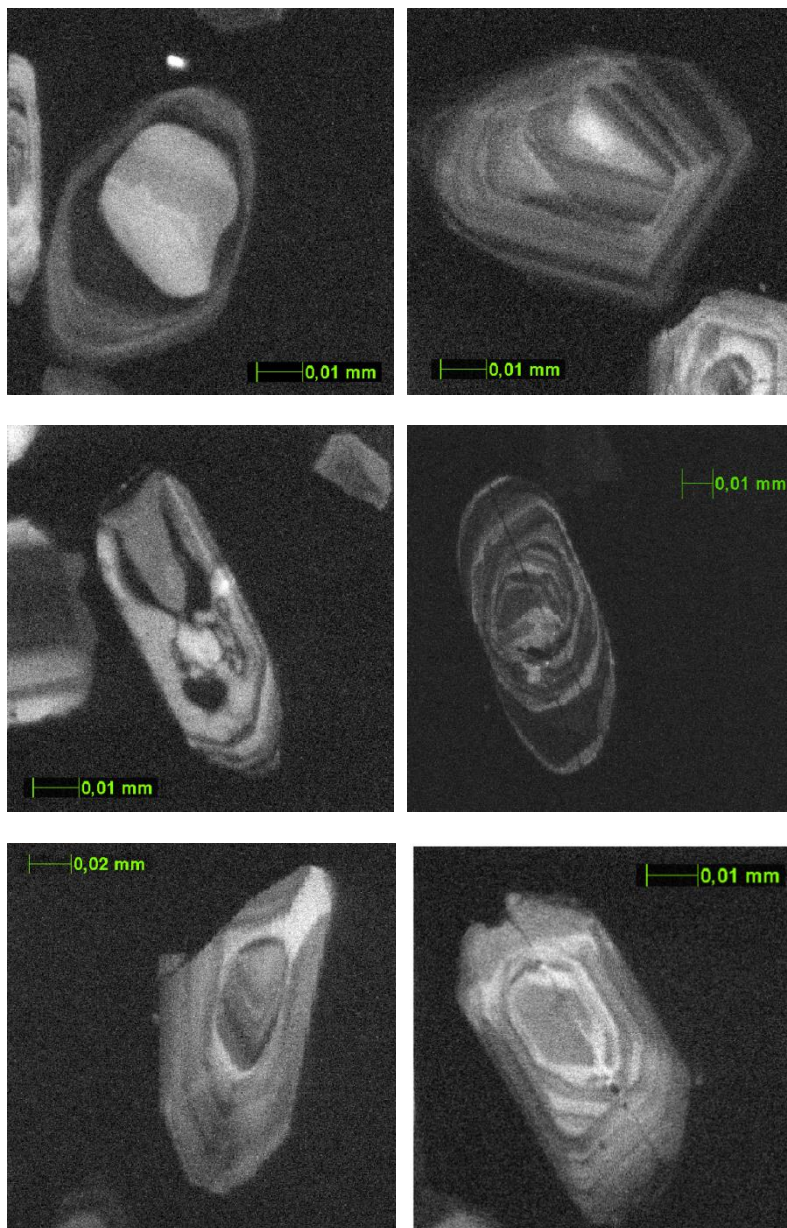


Fig. 4.14: fotografie in catodoluminescenza di zirconi nel campione Ant 165

Ant 357

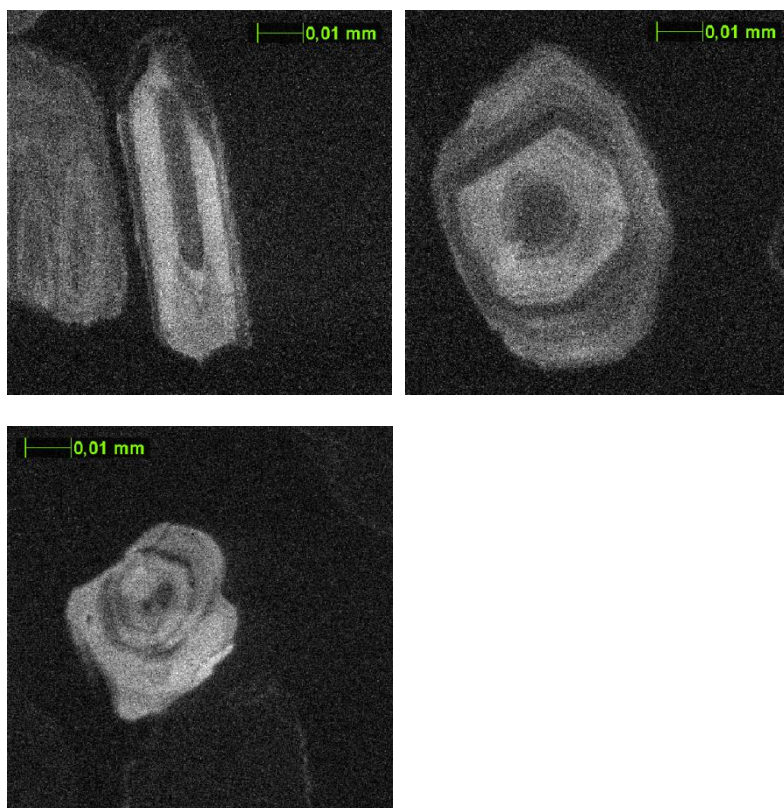


Fig. 4.15: fotografie in catodoluminescenza di zirconi nel campione Ant 357

9) *Laser Ablation (LA) e calcolo del rapporto U/Pb*

Prima dell'analisi in LA-ICP-MS, la grafitizzazione è stata rimossa e la superficie dei campioni è stata pulita con acqua deionizzata e etanolo. Le età sono state determinate con una microsonda per LA 193 nm ArF excimer (GeoLas200Q Microlas) associata ad un ICP-MS (element 1, ThermoFinnigan). Le analisi sono state condotte in modalità *single spot* con diametro del raggio di 25 μm . Il laser ha operato con una frequenza di 5 Hz e con un'energia di circa $8\text{J}/\text{cm}^2$. Sono stati acquisiti sessanta secondi di segnale di background e almeno trenta secondi di segnale di ablazione. I segnali delle masse di ^{202}Hg , $^{204}(\text{Pb} + \text{Hg})$, ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th e ^{238}U sono stati acquisiti in modalità scansione magnetica. ^{235}U è stato calcolato partendo dal ^{238}U sulla base del rapporto $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 137.818$ (Hiess et al., 2012). Il segnale del ^{202}Hg è stato acquisito per correggere l'interferenza del ^{204}Hg sul ^{204}Pb (Horn et al., 2000).

Durante ogni sequenza di analisi sugli zirconi di ogni campione, è stato analizzato uno zircone di riferimento insieme a quelli sconosciuti per un controllo della qualità dei dati (Langone et al., 2014).

Per il trattamento dei dati è stato usato il software applicativo GLITTER (van Achterbergh et al., 2001). I segnali sono stati indagati attentamente al fine di trovare perturbazioni relative ad inclusioni e fratture. All'interno di una medesima sequenza di analisi, l'errore associato agli standard è stato propagato ad ogni analisi dello stesso campione (vedere Horstwood et al., 2003), e a seguito di questa procedura ogni determinazione dell'età è stata ritenuta accurata all'interno dell'intervallo di errore calcolato.

La verifica per il diagramma Concordia è stata completata per ogni analisi a partire da $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ e $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ usando l'apposita funzione del software Isoplot/Ex 3.00 (Ludwig, 2003). La percentuale di discordanza è stata calcolata come:

$$\{[1 - (\text{età } ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} / \text{età } ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})] \times 100\}$$

e solo le età U-Pb con una percentuale di discordanza inferiore o uguale a $\pm 1.5\%$ sono state considerate attendibili; i dati discordanti non sono stati presi in considerazione. Il software Isoplot è stato utilizzato per rappresentare diagrammi Concordia. Invece il software DensityPlotter (versione 6.3) è stato usato per i diagrammi di densità di probabilità (Vermeesch, 2012).

Le analisi U-Pb e le età calcolate sono riportate nelle tabelle in appendice.

5. Risultati

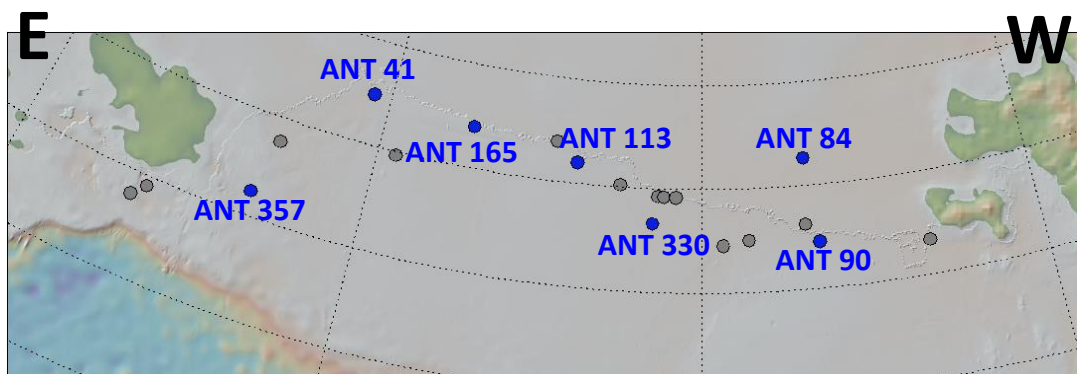


Fig. 5.1: ubicazione delle carote di till. In blu sono indicati i campioni analizzati in questo studio .

In questo capitolo verranno illustrati in dettaglio i risultati relativi alle analisi U-Pb.

I grafici delle età calcolate sono stati realizzati con il programma DensityPlotter, usando dapprima la funzione Output Density Plot e in seguito la funzione Radial Plot.

Questo programma permette di costruire delle curve di distribuzione delle età dei singoli cristalli secondo il metodo della *Kernel Density Estimation* (Vermeesch, 2012) che fornisce una stima quantitativa degli eventuali picchi di età presenti. Dal punto di vista grafico, talvolta il programma calcola dei picchi apparentemente in posizioni anomale rispetto all'andamento della curva.

Per comprendere meglio questo tipo di “anomalia”, gli stessi dati sono stati plottati su un diagramma radiale, utilizzando la funzione Radial Plot. Tale diagramma è visivamente meno efficace nel mostrare la presenza di gruppi di età ma consente di visualizzare l'errore presente nelle singole misure. Infatti, come si potrà vedere nelle figure di seguito, misure con errori grandi staranno più vicine allo zero. Laddove gli errori sono meno importanti (cioè dove i simboli

rappresentanti le età sono più spostati verso la scala radiale), il picco rispecchia con una certa precisione l'andamento della curva, andando quindi a marcare i massimi assoluti e relativi del grafico.

Qui di seguito vengono presentati i grafici Density Plot e Radial Plot dei sette campioni in esame. I dati provengono dalle tabelle in Appendice.

➤ **ANT 357**

Il campione Ant 357 proviene dal settore più orientale del Mare di Ross. I grafici mostrano un picco molto importante a circa 113 Ma (Figg. 5.2, 5.3).

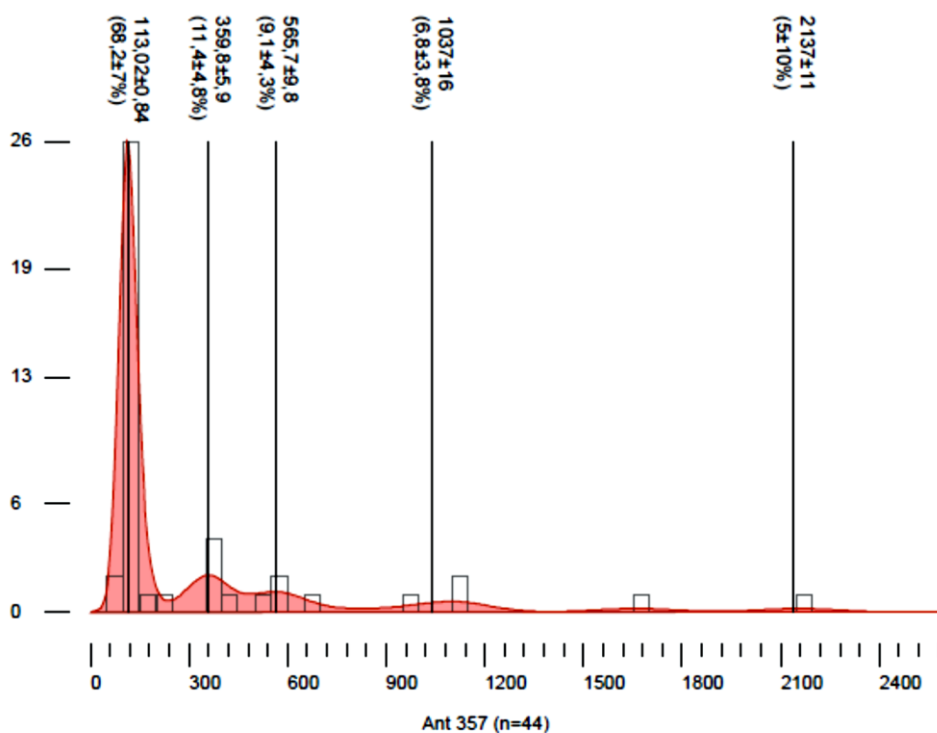


Fig. 5.2: curve di densità di probabilità e istogrammi del campione Ant 357

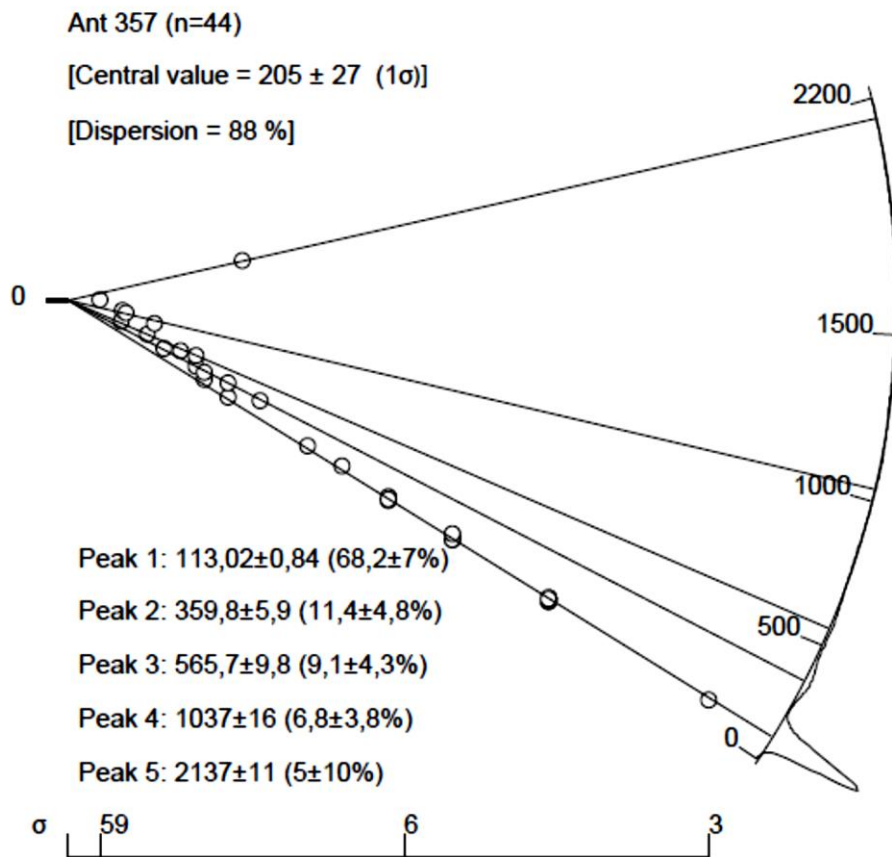
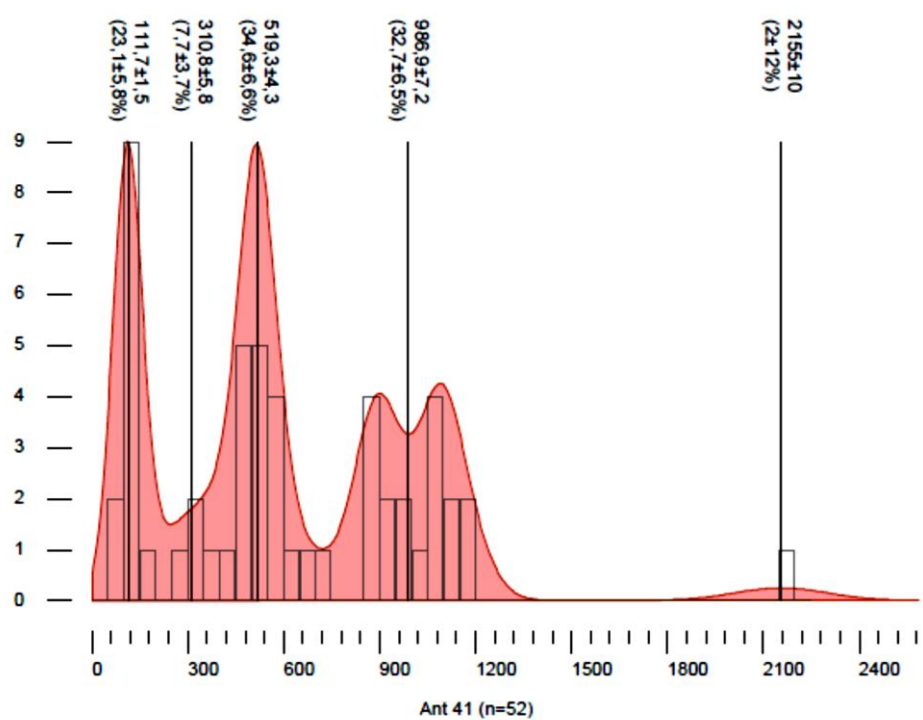


Fig. 5.3: diagramma radiale del campione Ant 357

➤ ANT 41

Il campione Ant 41 proviene dal settore orientale del Mare di Ross. I grafici mostrano picchi significativi a circa 111 Ma, a 519 Ma e a 966 Ma (Fig. 5.4)



Ant 41 (n=52)

[Central value = 454 ± 54 (1σ)]

[Dispersion = 85 %]

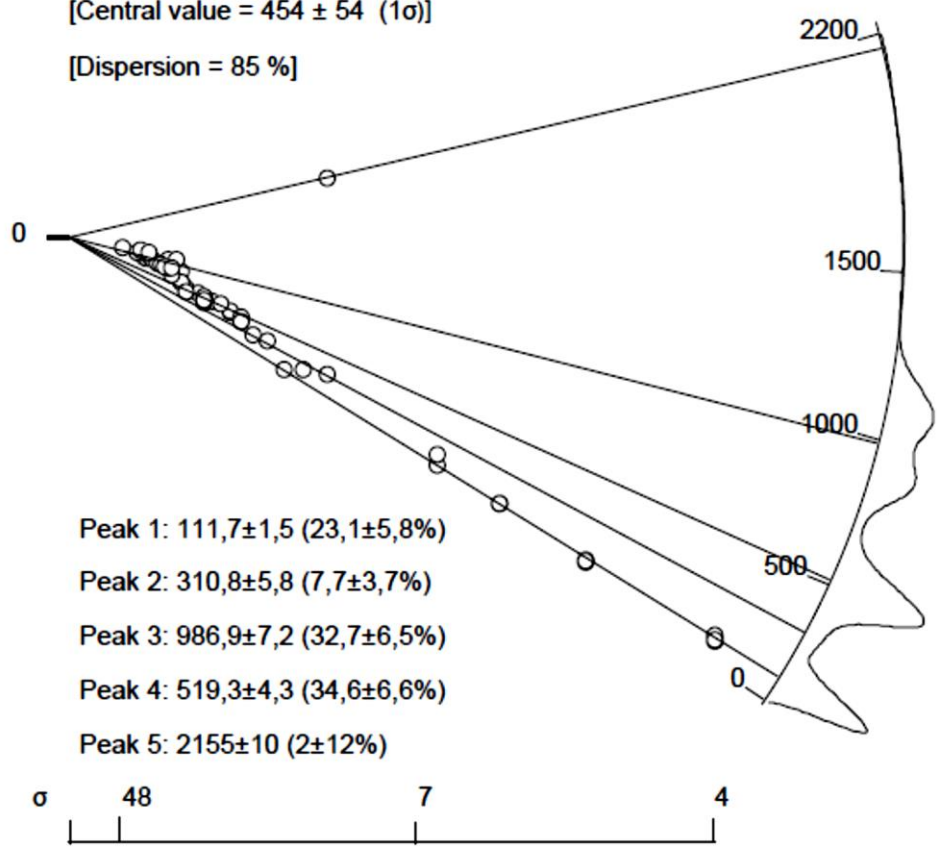


Fig. 5.4: curva di densità di probabilità e istogrammi (sopra) e diagramma radiale (sotto) del campione Ant 41

➤ **ANT 165**

Il campione Ant 165 proviene dal settore centrale del Mare di Ross. I grafici mostrano picchi significativi a circa 200 Ma e a 544 Ma (Figg. 5.5, 5.6).

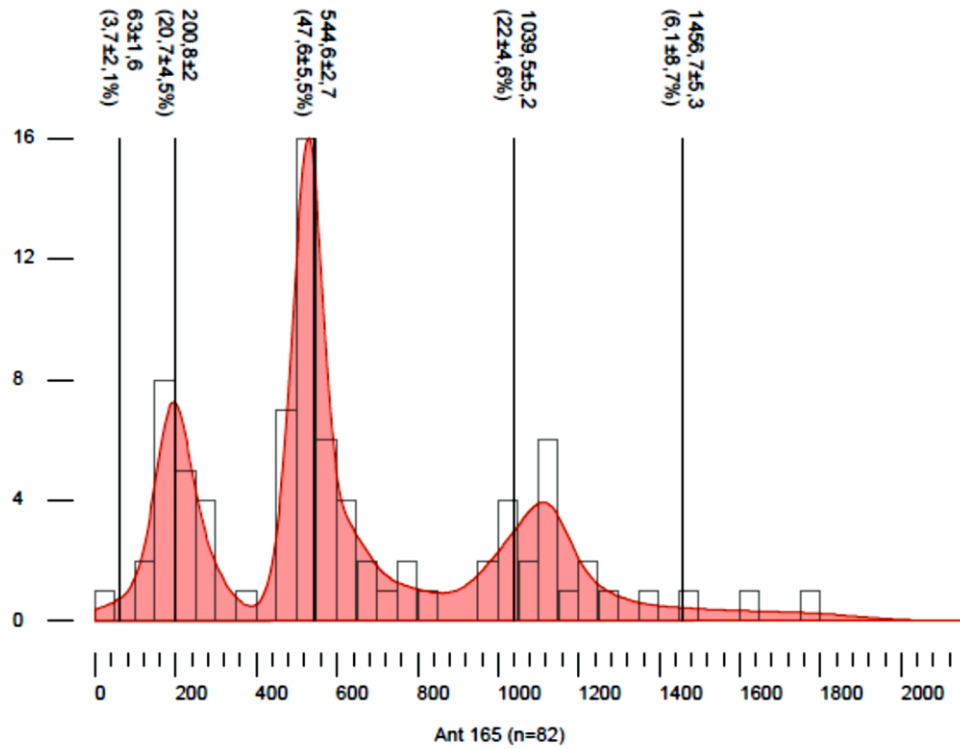


Fig. 5.5: curve di densità di probabilità e istogrammi del campione Ant 165

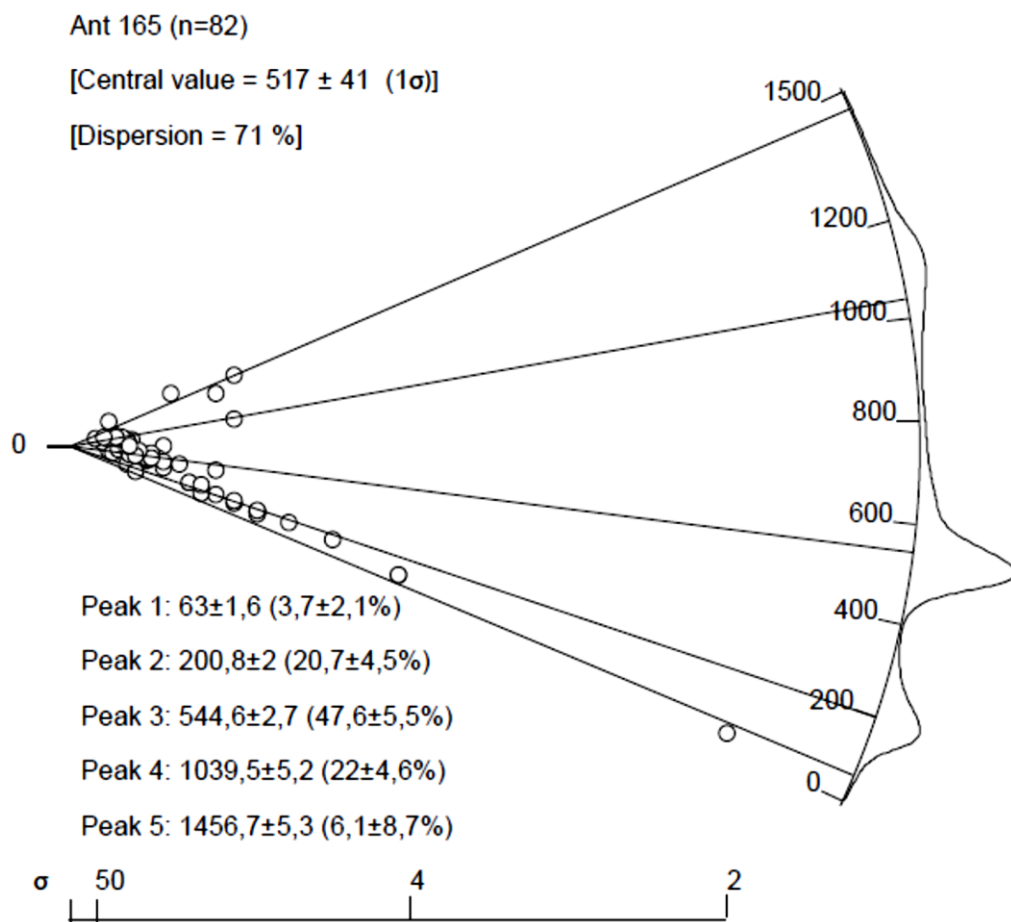


Fig. 5.6: diagramma radiale del campione Ant 165

➤ ANT 113

Il campione Ant 113 proviene dal settore centrale del Mare di Ross. La maggior parte dei cristalli ha un'età di circa 525 Ma (Fig. 5.7).

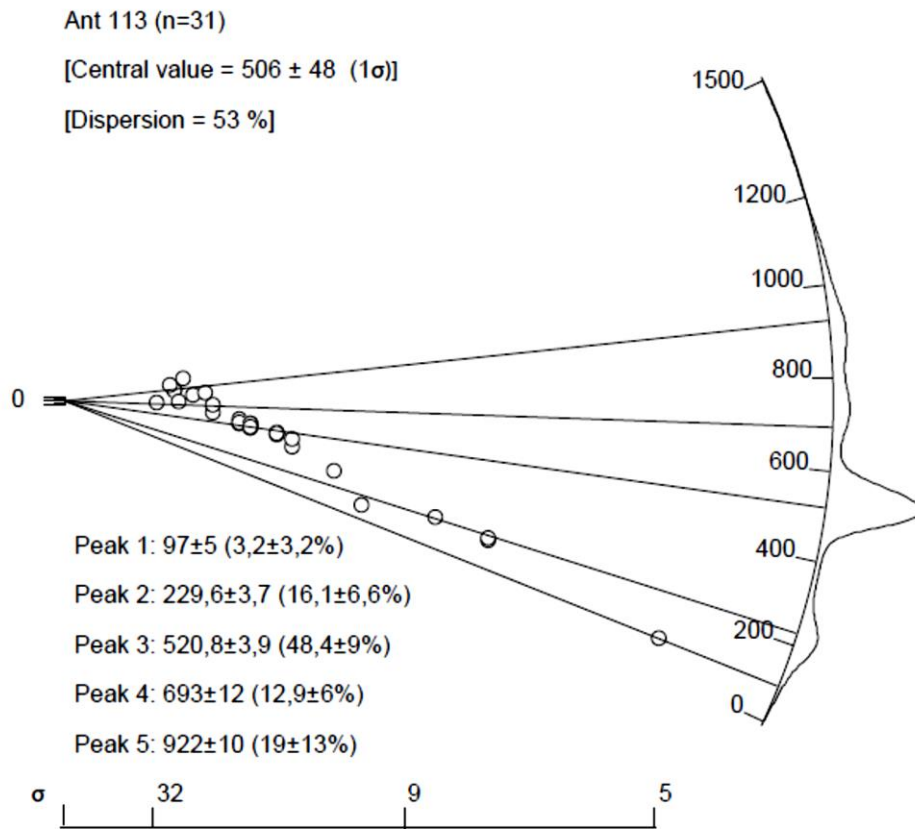
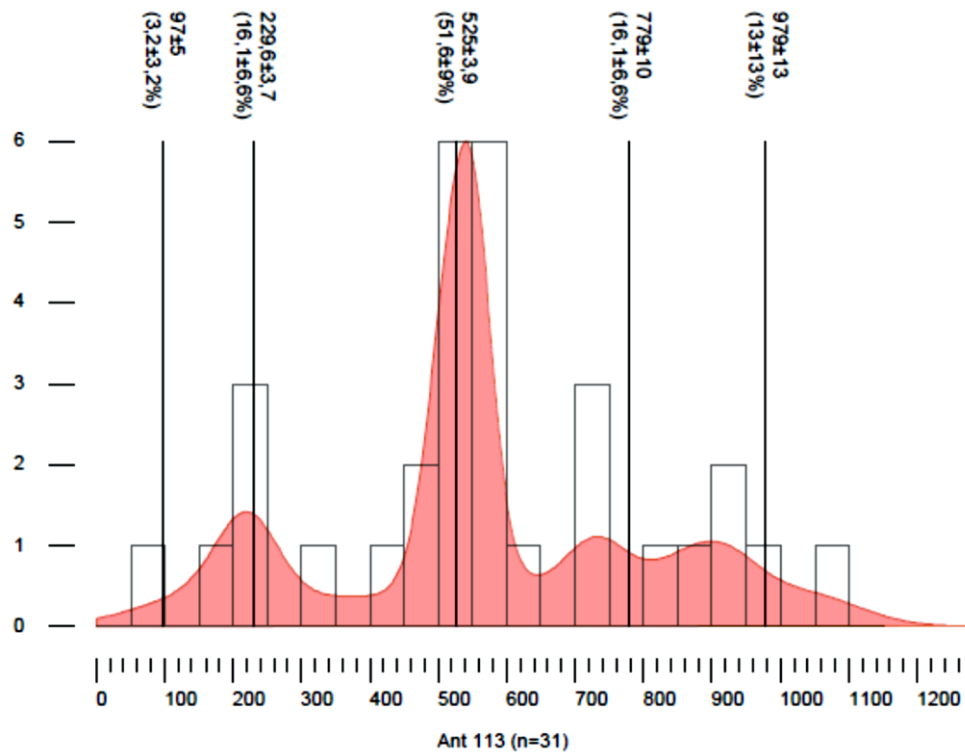


Fig. 5.7: curva di densità di probabilità e istogrammi (sopra) e diagramma radiale (sotto) del campione Ant 113

➤ **ANT 330**

Il campione Ant 330 proviene dal settore centrale del Mare di Ross. I grafici mostrano un picco significativo a circa 500 Ma (Figg. 5.8, 5.9).

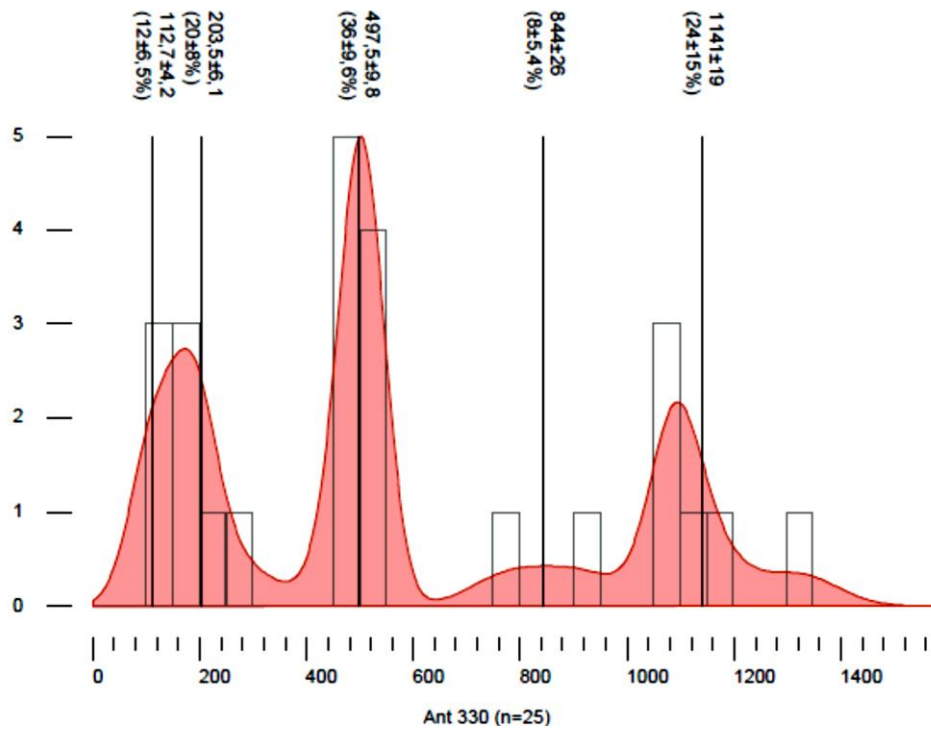


Fig. 5.8: curve di densità di probabilità e istogrammi del campione Ant 330

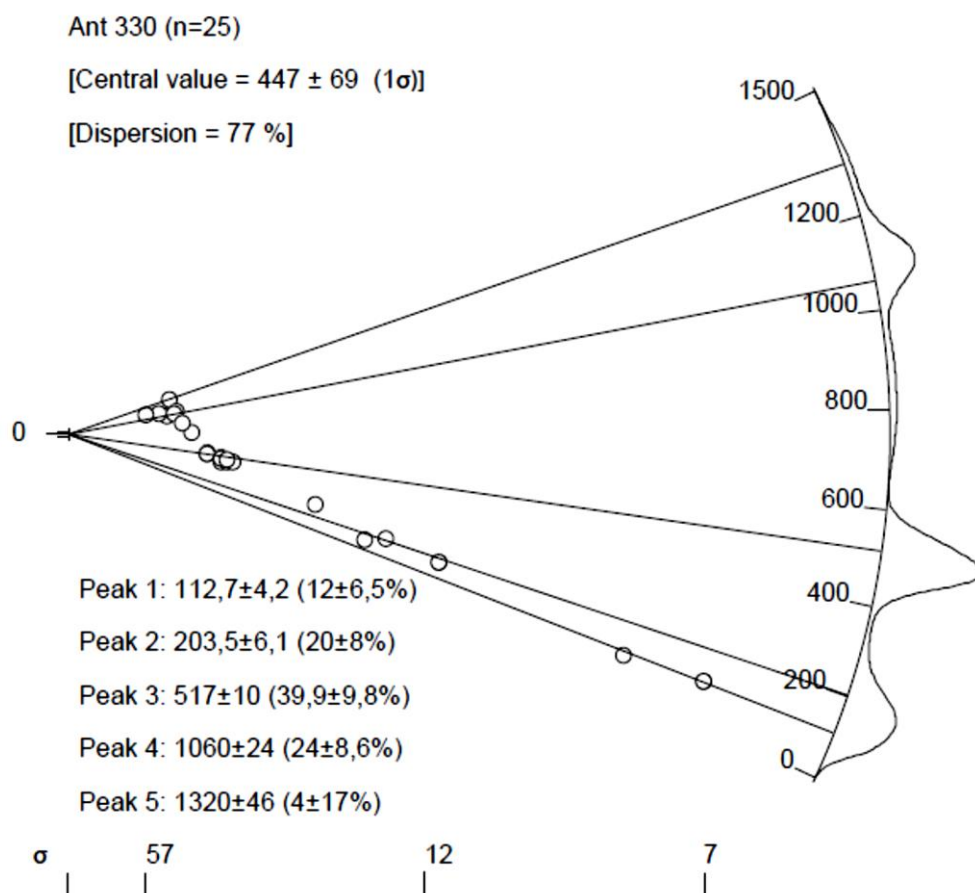
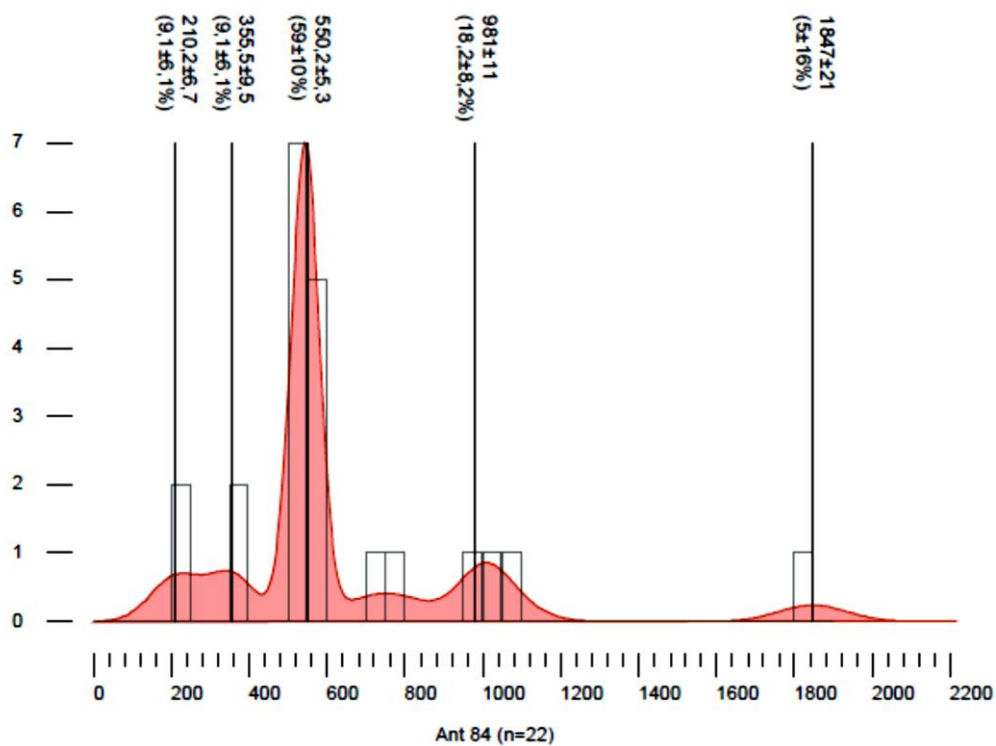


Fig. 5.9: diagramma radiale del campione Ant 330

➤ ANT 84

Il campione Ant 84 proviene dal settore occidentale del Mare di Ross. I grafici mostra un picco significativo a circa 550 Ma (Fig. 5.10).



Ant 84 (n=22)

[Central value = 569 ± 58 (1σ)]

[Dispersion = 48 %]

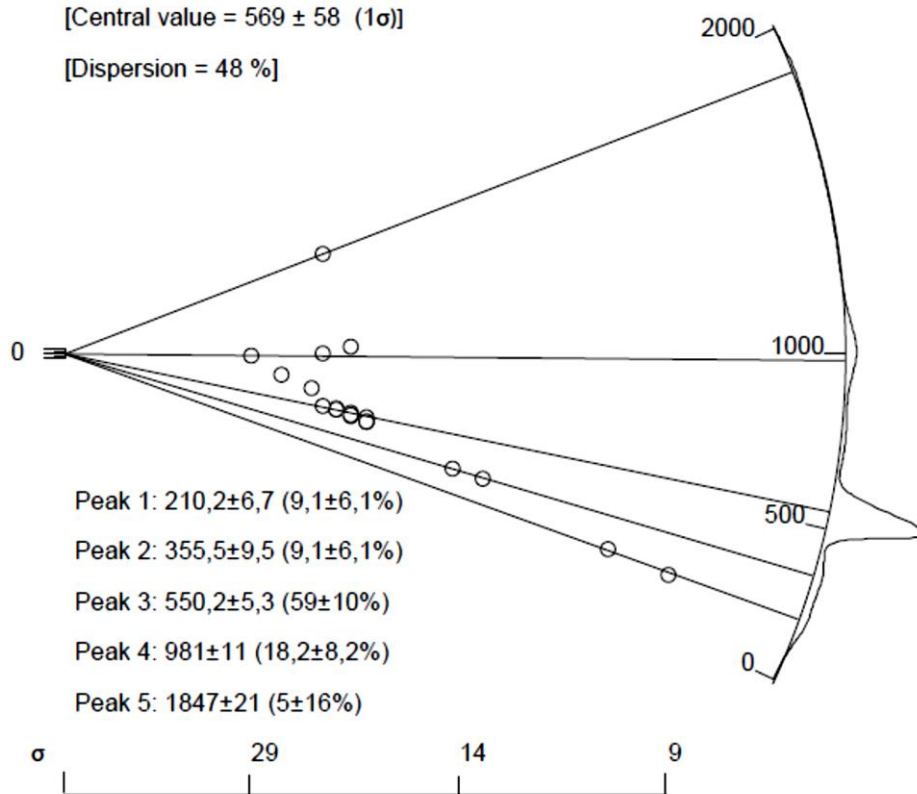


Fig. 5.10: curva di densità di probabilità e istogrammi (sopra) e diagramma radiale (sotto) del campione Ant 84

➤ **ANT 90**

Il campione Ant 90 proviene dal settore occidentale del Mare di Ross. I grafici mostrano un picco significativo a circa 480 Ma (Figg. 5.11, 5.12).

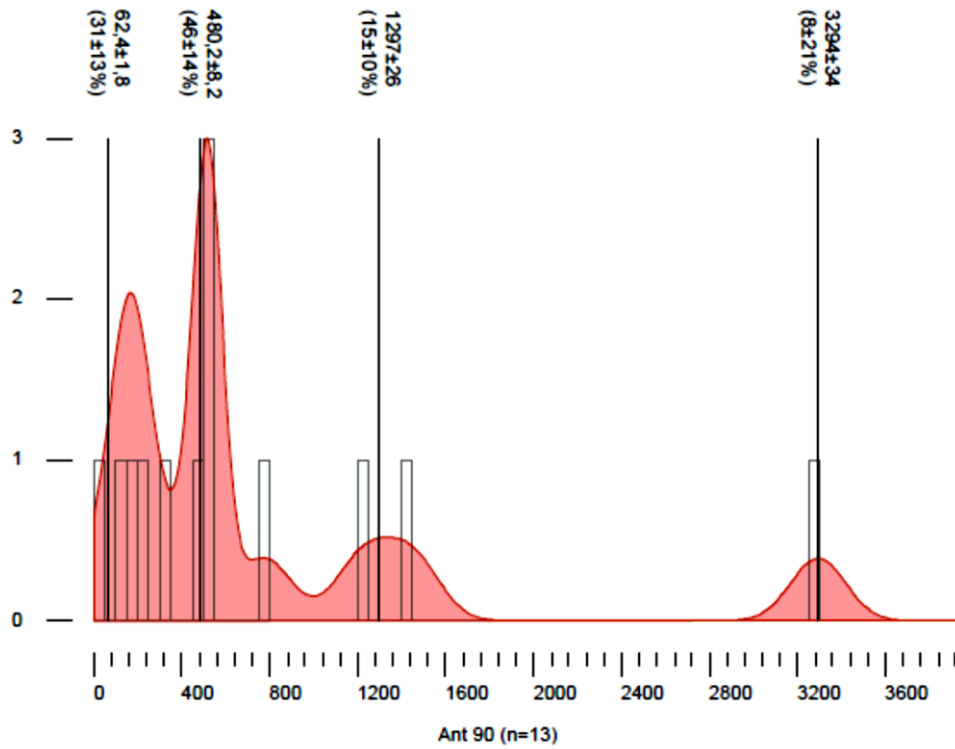


Fig. 5.11: curve di densità di probabilità e istogrammi del campione Ant 90

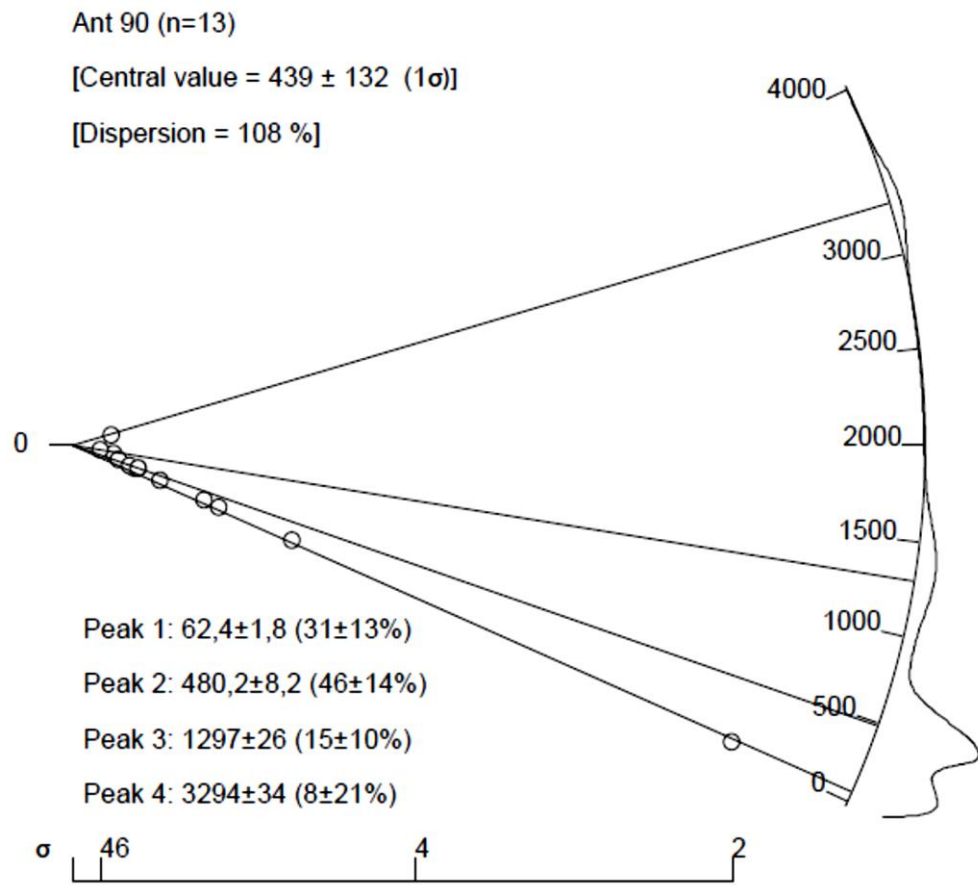


Fig. 5.12: diagramma radiale del campione Ant 90

6. Discussione

Negli studi compiuti da Licht & Palmer (2013), i campioni provenienti dal settore occidentale e da quello centrale del Mare di Ross presentano età comprese in prevalenza tra 530 e 610 Ma (Figg. 4.9, 4.10, 4.11), consistenti con le età rilevate nei campioni del Byrd Glacier (Transantarctic Mountains). I campioni provenienti dal settore orientale del Mare di Ross presentano invece, oltre al classico picco intorno ai 550 Ma, anche un picco a circa 100 Ma.

Nello studio di Licht et al. (2014), sono state in primo luogo rilevate le età di campioni provenienti dal Bindschadler Ice Stream (BIS), dal Kamb Ice Stream (KIS) e dal Willhans Ice Stream (WIS): il BIS e il KIS, oltre al picco a 500-550 Ma, presentano un picco caratteristico a 100-110 Ma. Il WIS invece mostra solo il picco a 500-550 Ma. Questi tre flussi glaciali si collocano tutti nel WAIS, ma solo il WIS risente dell'influsso delle Transantarctic Mountains. Le età comprese tra i 500 e i 610 Ma (evidenziate anche nello studio precedente) sono caratteristiche del basamento cristallino che affiora lungo le Transantarctic Mountains (TAM). Per questo motivo i campioni del settore centrale e del settore occidentale del Mare di Ross presentano età consistenti con quelle delle TAM. Al contrario, i campioni provenienti dal settore orientale del Mare di Ross mostrano età simili a quelle del BIS e del KIS, ovvero picchi a 100-110 Ma e a 500-550 Ma. Sono presenti inoltre picchi dubbi intorno ai 200 Ma (Figg. 4.13, 4.15).

I dati dei campioni analizzati in questo studio verranno quindi discussi in base alla presenza o meno dei picchi a 100-110 Ma e 500-550 Ma, indicatori di provenienza rispettivamente dalla Marie Byrd Land (WAIS) e dalle TAM.

Andando nel dettaglio, i campioni Ant 357 e Ant 41 mostrano entrambi un picco di età significativo a 100-110 Ma e provengono entrambi dal settore orientale del Mare di Ross. Ant 41 però presenta anche un picco molto marcato a 500-550 Ma,

che invece è quasi assente in Ant 357. È probabile che il campione Ant 357 abbia una provenienza da un settore molto ristretto della Marie Byrd Land, vista anche la posizione geografica del sito da cui proviene il campione.

Il picco 500-550 Ma è invece presente in tutti i campioni provenienti dal settore centrale e dal settore occidentale del Mare di Ross (Ant 165, Ant 113, Ant 330, Ant 84 e Ant 90).

Le età riscontrate nei campioni Ant 357 e Ant 41 sono consistenti con quanto affermato da Licht et al (2014).

Le età riscontrate in Ant 165, Ant 113, Ant 330, Ant 84 e Ant 90 sono coerenti con quanto suggerito da Licht & Palmer (2013): i campioni provenienti dal settore centrale e occidentale del mare di Ross presentano un picco importante a 500-550 Ma, giustificabile con l'influenza delle Transantarctic Mountains.

Alcuni campioni (Ant 165 soprattutto) mostrano una presenza importanti di età superiori ai 600 Ma. Tali età sono presenti sia lungo le TAM che nei nunatak legati alla calotta East Antarctica. Licht et al. (2014) ipotizzano però che una sorgente alternativa per tali cristalli possa essere identificata con la Swanson Formation, affiorante nella Marie Byrd Land, come suggerito dai dati ricavati dal till identificato come WIS in fig. 6.1.

È possibile formulare un'ipotesi circa le direzioni del flusso glaciale e quindi le provenienze dei sedimenti sulla base dei dati raccolti e degli studi precedenti (Fig. 6.1).

In questo modello, i campioni Ant 357, Ant 41 e Ant 165 sono strettamente legati alle dinamiche del WAIS, mentre gli altri campioni hanno una provenienza più legata alle fluttuazioni dell'EAIS. È però importante far notare che difficilmente si riesce a definire una provenienza precisa dei campioni del Mare di Ross centrale con i dati a disposizione: per questo si è fatto affidamento sui modelli di flusso precedenti (fig. 3.16).

Si suppone che Ant 357 provenga dal McAvey Ice Stream per via del picco particolarmente marcato a 100-110 Ma e della quasi totale assenza del massimo caratteristico a 500-550 Ma.

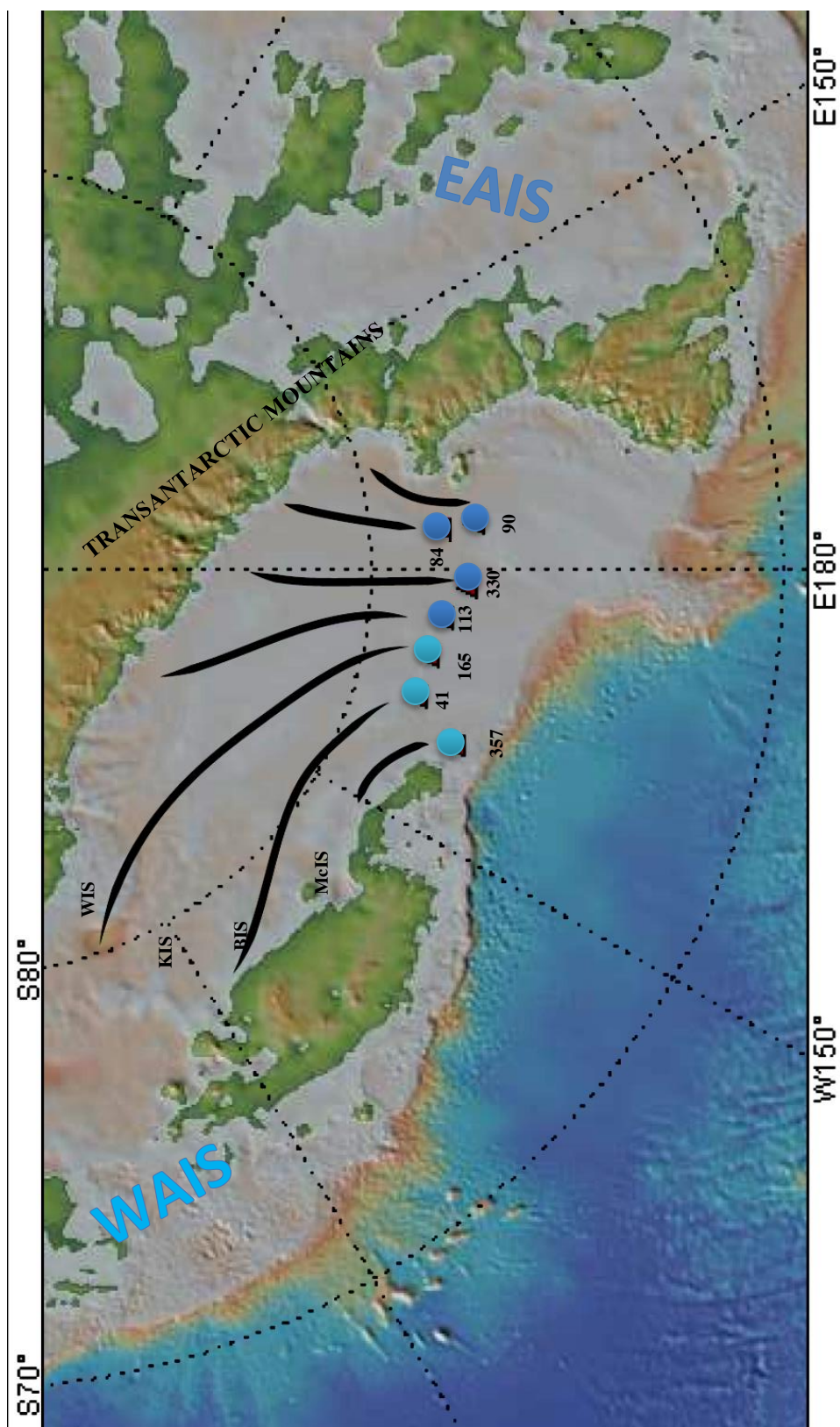


Fig. 6.1: ipotesi di flusso glaciale e provenienza dei sedimenti del Mare di Ross

7. Conclusioni

Lo scopo di questo lavoro era di ricostruire il flusso delle calotte polari nel Mare di Ross dopo l'ultimo massimo glaciale attraverso datazioni U-Pb su zirconi detritici raccolti in vari siti lungo il fronte dell'attuale piattaforma. Tali dati, oltre ad offrire indicazioni sulla dinamica glaciale, consentono di avere informazioni sulla geologia di regioni attualmente completamente coperte da ghiaccio o poco accessibili.

I dati sono stati raccolti su zirconi di sette campioni di sedimenti: le età U-Pb sono state ottenute in seguito ad analisi in microsonda associata ad un ICP-MS.

Sono state quindi effettuate delle elaborazioni grafiche e statistiche per visualizzare le distribuzioni di età e ricavare le popolazioni presenti all'interno di ciascun campione.

La maggior parte dei campioni mostra un picco a 500-550 Ma. Tali età sono legate all'orogenesi di Ross e si trovano comunemente nel basamento cristallino delle Transantarctic Mountains. Altro picco caratteristico, presente in alcuni campioni, è a 100-110 Ma. Tali età sono compatibili con rocce affioranti lungo la Marie Byrd Land. Sono infine presenti età attorno ai 200 Ma e molto più antiche (>1000 Ma) che non sono facilmente riconducibili a particolari aree sorgenti.

Attraverso questi dati è stato possibile quindi distinguere i campioni strettamente legati alla calotta West Antartica dai campioni legati alla East Antartica e quindi alle Transantarctic Mountains. I campioni prelevati dal settore orientale del Mare di Ross mostrano affinità con aree sorgenti localizzate lungo la Marie Byrd Land mentre, ovviamente, i campioni del settore occidentale sono compatibili con le rocce delle Transantarctic Mountains. Più in generale, risulta piuttosto evidente come gran parte del Mare di Ross sia influenzato dalle dinamiche relative alla

calotta West Antarctica mentre solo le porzioni più prossime alle Transantarctic Mountains risentono delle fluttuazioni della calotta East Antarctica.

8. Bibliografia

- Alley, R. B.; MacAyeal, D. R.; 1994. Ice-rafted debris associated with binge/purge oscillations of the Laurentide Ice Sheet. *Paleoceanography*, 9: 503–11
- Alonso, B.; Anderson, J. B.; Diaz, J. L.; Bertek, L. R.; 1992. Pliocene-Pleistocene seismic stratigraphy of the Ross Sea: evidence for multiple ice-sheet grounding episodes. In: Elliot, D. H. (Ed.). *Contributions to Antarctic Research III. Antarctic Research Series, Vol. 57*. American Geophysical Union, Washington, DC, 93-103.
- Anderson, J. B.; 1999. *Antarctic Marine Geology*. Cambridge University Press, New York 289pp.
- Anderson, J. B.; Brake, C. F.; Myers, N. C.; 1983. Sedimentation in the Ross Sea, Antarctica. *Mar. Geol.*, 57: 295-333
- Anderson, J. B.; Andrews, J. T.; 1999. Radiocarbon constraints on ice sheet advance and retreat in the Weddell Sea, Antarctica. *Geology* 27: 179-182.
- Anderson, J. B.; Shipp, S. S.; 2001. Evolution of the West Antarctic Ice Sheet. In: Alley, R., Bindschadler R. (Eds.), *The West Antarctic Ice Sheet: Behavior and Environments, Antarctic Research Series, Vol. 77*. American Geophysical Union, Washington, DC, 45-57.
- Anderson, J. B.; Shipp, S. S.; Lowe, A. L.; Smith Wellner, J.; Mosola, A.B.; 2001. The Antarctic Ice Sheet during the Last Glacial Maximum and its subsequent retreat history: a review. *Quaternary Science Reviews*, 2002, 21: 49-70.

- Balshaw, K. M.; 1980. Antarctic glacial chronology reflected in the Oligocene through Pliocene sedimentary section in the Ross Sea. Ph.D Thesis, Rice University, 140pp.
- Barrett, P. J.; 1991. The Devonian to Jurassic Beacon Supergroup of the Transantarctic Mountains and correlatives in other parts of Antarctica. In: Tingey, R. J. (Ed.), *The Geology of Antarctica*. Oxford University Press, New York, 120-152.
- Behrendt, J. C.; Cooper, A. K.; 1991. Evidence of rapid Cenozoic uplift of the shoulder escarpment of the West Antarctic rift system and a speculation on possible climate forcing. *Geology* 19: 315-319.
- Bindschadler, R.A.; Scambos, T.A.; 1991. Satellite-image-derived velocity field of an Antarctic ice stream. *Science*, 252(5003): 242-246
- Bushnell, V. C.; Craddock, C. (Eds.); 1970. Antarctic Map Folio Series. American Geographical Society, New York Map 64-29.
- Conway, H.; Hall, B. L.; Denton, G. H.; Gades, A. M.; Waddington, E. D.; 1999. Past and future grounding line retreat of the west Antarctic Ice Sheet. *Science* 286: 280-283.
- Dalziel, I. W. D., Lawver, L. A.; 2001. The lithospheric setting of the West Antarctic ice sheet. In: Alley, R. B., Binschadler, R. A. (Eds.), *The West Antarctic Ice Sheet, Behavior and Environment*, Antarctic Research Series, 77: 29-44.
- Denton, G. H.; Hughes, T. J.; 2000. Reconstruction of the Ross Ice Drainage System, Antarctica, at the Last Glacial Maximum. *Geografiska Annaler* 2-3 (82A): 143-166.
- Domack, E. W.; Jacobson, E. A.; Shipp, S. S.; Anderson, J. B.; 1999. Sedimentologic and stratigraphic signature of the Late Pleistocene/Holocene

- fluctuation of the West Antarctic Ice Sheet in the Ross Sea: a new perspective, Part 2. *Geological Society of America Bulletin* 111: 1517-1536.
- Farmer, G. L.; Licht, K.; Swope, R. J.; Andrews, J.; 2006. Isotopic constraints on the provenance of fine-grained sediment in LGM tills from the Ross embayment, Antarctica. *Earth and Planetary Science Letters*, 249: 90-107
- Fitzgerald, P. G.; 1992. The Transantarctic Mountains of Southern Victoria Land: the application of apatite fission track analysis to a rift shoulder uplift. *Tectonics* 11: 634-662.
- Gehrels, G.; 2010. U-Th-Pb analytical methods for Zircon. Arizona LaserChron Center, University of Arizona.
- Gehrels, G.; 2010. U-Th-Pb analytical methods. Arizona LaserChron Center, University of Arizona.
- Golledge, N. R.; Fogwill, C. J.; Mackintosh, A. N.; Buckely, K. M.; 2012. Dynamics of the Last Glacial Maximum Antarctic ice-sheet and its response to ocean forcing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109: 16052-16056.
- Hayes, D. E.; Davey, F. J.; 1975. A geophysical study of the Ross Sea, Antarctica. In: Hayes, D. E., Frakes, L. A. (Eds.). *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 28*. US Government Printing Office, Washington, DC, 887-907.
- Hiess, J.; Condon, D. J.; McLean, N.; Noble, S. R.; 2012. $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ systematics in terrestrial Uranium bearing minerals. *Geology*, 335: 1610–1614.
- Hollin, J. T. 1962. Some problems of the Antarctic mass budget. *Journal of Glaciology*, Vol. 4, No. 33: 312-314.
- Horn, I.; Rudnick, R. L.; and McDonough, W. F.; 2000. Precise elemental and isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser

- ablation-ICP-MS: application to U-Pb geochronology. *Chem. Geol.* 164: 281–301.
- Horstwood, M. S. A.; Forster, G. L.; Parrish, R. R.; Noble, S. R.; Nowell, G. M.; 2003. Common-Pb corrected in situ U-Pb accessory mineral geochronology by LA-MCICP-MS. *J. Anal. Atom. Spectrom.* 18: 837-846. doi:10.1039/b304365g.
- Hughes, T. J.; 1973. Is the West Antarctic Ice Sheet disintegrating? *Journal of Geophysical Research* 78: 7884-7910.
- Hughes, T. J.; 1977. West Antarctica ice streams. *Review of Geophysics and Space Physics*, 15: 1-46.
- Jahns, E.; 1994. Evidence for a fluidized till deposit on the Ross Sea continental shelf. *Antarctic Journal of the United States*, 29: 139-141.
- Ketchum, J. W. F.; Jackson, S. E.; Culshaw, N. G.; Barr, S. M.; 2001. Depositional and tectonic setting of the Paleoproterozoic Lower Aillik Group, Makkovik Province, Canada: evolution of a passive margin-foredeep sequence based on petrochemistry and U-Pb (TIMS and LAM-ICP-MS) geochronology. *Precambrian Res.* 105: 331-356.
- Kyle, P. R.; 1990. McMurdo volcanic group western Ross Embayment. In: Le Masurier, W. E., Thomson, J. W. (Eds.), *Volcanoes of the Antarctic Plate and Southern Oceans*. American Geophysical Union, Washington, DC, 48-80
- Langone, A.; Caggianelli, A.; Festa, V.; Prosser, G.; 2014. Time constraints on the building of the Serre Batholith: consequences for the thermal evolution of the Hercynian continental crust exposed in Calabria (Southern Italy). *The Journal of Geology*, 2014, 122: 181-199.
- Lawver, L.A.; Royer, J. Y.; Sandwell, D. T.; Scotse, C. R.; 1991. Evolution of the Antarctic continental margin. In: Thomson, M. R. A., et al. (Eds.),

Geological Evolution of Antarctica. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 533-540.

Le Masurier, W. E.; 1990. Late Cenozoic volcanism on the Antarctic plate – an overview. In: Le Masurier, W. E., Thomson, J. W. (Eds.), *Volcanoes of the Antarctic Plate and Southern Oceans*. American Geophysical Union Antarctic Research Series, Vol. 48, American Geophysical Union, Washington, DC, 1-9.

Le Masurier, W. E.; Rex, D. C. ; 1991. The Marie Byrd land volcanic province and its relation to the cenozoic West Antarctic rift system. In: Tingey, R. J. (Ed.), *The Geology of Antarctica*. Oxford University Press, New York, 249-284.

Le Masurier, W. E.; Wade, F. A. ; 1976. Volcanic history in Marie Byrd Land: implications with regard to southern hemisphere tectonic reconstructions. In: Gonzáles-Farrán, O. (Ed.), *Proceedings of the International Symposium on Andean and Antarctic Volcanology Problems*. IAVCEI, Rome, 398-424.

Licht, K. J.; 1999. Investigations into the Late Quaternary history of the Ross Sea, Antarctica. Ph.D Thesis, University of Colorado, Boulder, 234pp.

Licht, K. J. ; Dunbar, N. W.; Andrews, J. T.; Jennings, A. E.; 1999. Distinguishing subglacial till and glacial marine diamictons in the western Ross Sea, Antarctica: implications for the last glacial maximum grounding line. *Geological Society of America Bulletin* 111: 91-103.

Licht, K. J.; Fastook, J.; 1998. Constraining a numerical ice sheet model with geologic data over one ice sheet advance/retreat cycle in the Ross Sea. *Chapman Conference on the West Antarctic Ice Sheet*, University of Maine, 25-26.

Licht, K. J. ; Hennessy, A. J.; Welke, B. M.; 2014. The U-Pb detrital zircon signature of West Antarctic ice stream tills in the Ross embayment, with

- implications for Last Glacial Maximum ice flow reconstructions. *Antarctic Sciences*, 2014, 26(6): 687-697
- Licht, K. M., Jennings, A. E.; Andrews, J. T.; Williams, K. M.; 1996. Chronology of the Late Wisconsin ice retreat from the western Ross Sea, Antarctica. *Geology* 24: 223-226.
- Licht, K. J.; Lederer, J. R.; Jeffrey Swope, R.; 2004. Provenance of LGM glacial till (sand fraction) across the Ross embayment, Antarctica. *Quaternary Science Reviews*, 2005, 24: 1499-1529.
- Licht, K. J.; Palmer, E. F.; 2012; Erosion and transport by Byrd Glacier, Antarctica during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 2013, 62: 32-48.
- Ludwig, K. R.; 2003. Isoplot/Ex version 3.0: a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication 4. Berkeley, Berkeley Geochronology Center, 70 p.
- Luyendyk, B. P.; Richard, S. M.; Smith, C. H.; Kimbrough, D. L.; 1991. Geological and geophysical investigations in the northern Ford Ranges, Marie Byrd Land, West Antarctica. In: Yoshida, Y., Kaminuma, K., Shiraishi, K. (Eds.), *Recent Progress in Antarctic Earth Science*. Terra Sci., Tokyo, 279-288.
- MacAyeal, D.R.. Irregular oscillations of the West Antarctic Ice Sheet; 1992. *Nature*, 359: 29-32
- Myrow, P.M.; Pope, M. C.; Goodge, J. W.; Fischer, W.; Palmer, A. R.; 2002. Depositional history of pre-Devonian strata and timing of Ross Orogenic tectonism in the central Transantarctic Mountains, Antarctica. *Geological Society of America Bulletin* 114: 1070-1088.

- Rignot, E.; Bamber, J. L.; van den Broeke, M. R.; Davis, C.; Li, Y.; van de Berg, W. J.; Meijgaard, E. V.; 2008. Recent Antarctic ice mass loss from radar interferometry and regional climate modelling. *Nat. Geosci.*, 1: 106-110.
- Rooney, S. T.; Blankenship, D. D.; Alley, R. B.; Bentley, C. R.; 1991. Seismic reflection profiling of a sediment-filled graben beneath ice stream B, West Antarctica. In: Thomson, M. R. A., Crame, J. A., Thomson, J. W. (Eds.), *Geological Evolution of Antarctica*. Cambridge University Press, New York, 261-265.
- Scherer, R. P. ; Aldahan, A. ; Tulaczyk, S.; Possnert, G.; Engelhardt, H.; Kamb, B.; 1998. Pleistocene collapse of the West Antarctic Ice Sheet. *Science* 281: 82-85.
- Shipp, S. S., Anderson, J. B.; Domack, E. W.; 1999. Seismic signature of the Late Pleistocene fluctuation of the West Antarctic Ice Sheet system in the Ross Sea: a new perspective, Part 1. *Geological Society of America Bulletin* 111: 1486-1516.
- Steiger, R. H.; Jäger, E.; 1977. Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry: *Earth and Planetary Science Letters*, 36: 359-362.
- Stuiver, M.; Denton, G. H.; Hughes, T. J.; Fastook, J. L.; 1981. History of the marine ice sheets in West Antarctica during the last glaciation: a working hypothesis. In: Denton, G. H., Hughes, T. J. (Eds.), *The Last Great Ice Sheets*. Wiley-Interscience, New York, 319-439.
- van Achterbergh, E.; Ryan, C. G.; Jackson, S. E.; Griffin, W.; 2001. Data reduction software for LA-ICP-MS. In: Sylvester, P., ed. *Laser ablation ICPMS in the earth sciences: principles and applications*. Mineral. Assoc. Can. Short Course Ser. 29: 239-243.
- Vermeesch, P.; 2012. On the visualisation of detrital age distributions. *Chemical Geology*, v.312-313, 190-194, doi: 10.1016/j.chemgeo.2012.04.021 0

- Weaver, S. D.; Bradshaw, J. D.; Adams, C. J.; 1991. Granitoids of the Ford Ranges, Marie Byrd Land, Antarctica. In: Thomson, M. R. A., et al. (Eds.), Geological Evolution of Antarctica. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 345-351.
- Wheterill, G. W.; 1956. Discordant uranium-lead ages: Transactions of the American Geophysical Union, 37: 320-326.
- Wilson, T. J.; 1992. Mesozoic and Cenozoic kinematic evolution of the Transantarctic Mountains. In: Kaminuma, K., Toshida, Y. (Eds.), Recent Progress in Antarctic Earth Science. Terra, Tokyo, 303-314.

9. Appendice

Sample	Data for Wetherill plot ³				Ages ³				Concordant ages						
	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 abs	% U/Pb disc ⁴	2 abs			
Ju25c005	0.07538	0.00401	1.87954	0.09612	0.17943	0.00467	0.5	1079	57	1074	55	1064	28	0.9	
Ju25c006	0.04939	0.01191	0.13329	0.03163	0.01980	0.00094	0.2	166	40	127	30	126	6	0.5	126
Ju25c007	0.07829	0.01359	0.26142	0.04432	0.02424	0.00104	0.3	1154	200	236	40	154	7	34.5	
Ju25c008	0.08615	0.00377	0.18207	0.00765	0.01536	0.00036	0.6	1342	59	170	7	98	2	42.1	
Ju25c009	0.07713	0.00596	0.17172	0.01276	0.01620	0.00047	0.4	1125	87	161	12	104	3	35.6	
Ju25c010	0.13442	0.00284	7.40510	0.15024	0.39987	0.00822	1.0	2157	46	2162	44	2168	45	-0.3	2155
Ju25c011	0.07215	0.00204	1.61677	0.04427	0.16314	0.00348	0.8	990	28	977	27	974	21	0.3	976
Ju25c012	0.07514	0.00173	1.85792	0.04125	0.17945	0.00367	0.9	1072	25	1066	24	1064	22	0.2	1068
Ju25c013	0.17255	0.00617	0.44130	0.01458	0.01859	0.00044	0.7	2583	92	371	12	119	3	68.0	
Ju25c014	0.05201	0.00190	0.28301	0.01004	0.03956	0.00086	0.6	286	10	253	9	250	5	1.2	250
Ju25c015	0.05789	0.00139	0.67547	0.01589	0.08462	0.00175	0.9	526	13	524	12	524	11	0.1	524
Ju25c016	0.64850	0.02156	8.94317	0.25083	0.10009	0.00283	1.0	4621	154	2332	65	615	17	73.6	
Ju25c017	0.04702	0.02891	0.12551	0.07646	0.01933	0.00167	0.1	50	31	120	73	123	11	-2.8	
Ju25c018	0.03746	0.00849	0.12552	0.02816	0.02430	0.00093	0.2	-523	-119	120	27	155	6	-28.9	
Ju25c019	0.07665	0.00220	1.97291	0.05429	0.18695	0.00394	0.8	1112	32	1106	30	1105	23	0.1	1106
Ju25c020	0.35612	0.01403	1.67001	0.05782	0.03403	0.00093	0.8	3733	147	997	35	216	6	78.4	
Ju25c021	0.06806	0.00154	1.33494	0.02913	0.14217	0.00292	0.9	870	20	861	19	857	18	0.5	865
Ju25c022	0.04879	0.00351	0.12473	0.00870	0.01849	0.00047	0.4	138	10	119	8	118	3	1.0	118
Ju25c028	0.07570	0.00173	1.95465	0.04272	0.18713	0.00385	0.9	1087	25	1100	24	1106	23	-0.5	1094
Ju25c029	0.07755	0.00366	2.08569	0.09493	0.19444	0.00469	0.5	1135	54	1144	52	1145	28	-0.1	1145
Ju25c030	0.06063	0.00165	0.85666	0.02244	0.10253	0.00211	0.8	626	17	628	16	629	13	-0.1	629
Ju25c031	0.11648	0.00972	0.34729	0.02731	0.02165	0.00075	0.4	1903	159	303	24	138	5	54.4	
Ju25c032	0.07094	0.00202	1.57165	0.04267	0.16069	0.00335	0.8	956	27	959	26	961	20	-0.2	960
Ju25c033	0.05907	0.00173	0.75431	0.02111	0.09258	0.00189	0.7	570	17	571	16	571	12	0.0	571
Ju25c034	0.07520	0.00238	1.87339	0.05676	0.18051	0.00389	0.7	1074	34	1072	32	1070	23	0.2	1071
Ju25c035	0.05755	0.00133	0.67029	0.01482	0.08449	0.00170	0.9	513	12	521	12	523	10	-0.4	521
Ju25c036	0.04768	0.01616	0.14223	0.04782	0.02170	0.00105	0.1	83	28	135	45	138	7	-2.5	
Ju25c037	0.18861	0.01772	0.47584	0.04130	0.01833	0.00076	0.5	2730	256	395	34	117	5	70.4	
Ju25c038	0.02325	0.00401	0.06230	0.01068	0.01944	0.00051	0.2	-2024	-349	61	11	124	3	-102.3	
Ju25c039	0.05637	0.00214	0.57112	0.02059	0.07383	0.00159	0.6	467	18	459	17	459	10	-0.1	459
Ju25c040	0.64151	0.02764	12.93097	0.47426	0.14666	0.00523	1.0	4605	198	2675	98	882	31	67.0	
Ju25c041	0.04806	0.00469	0.12430	0.01188	0.01878	0.00053	0.3	102	10	119	11	120	3	-0.8	120
Ju25c042	0.07589	0.00250	0.42228	0.01328	0.04045	0.00086	0.7	1092	36	358	11	256	5	28.5	
Ju25c043	0.09983	0.00239	0.22404	0.00508	0.01633	0.00034	0.9	1621	39	205	5	104	2	49.1	
Ju25c044	0.10239	0.00221	0.89830	0.01830	0.06392	0.00133	1.0	1668	36	651	13	399	8	38.6	
Ju25c045	0.07305	0.00189	1.71279	0.04159	0.16973	0.00354	0.9	1015	26	1013	25	1011	21	0.3	1014
Ju25c046	0.38961	0.02026	1.77963	0.07868	0.03334	0.00115	0.8	3869	201	1038	46	211	7	79.6	

Tab 9.1: Ant 41.1

Sample	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 1 abs				Data for Wetherill plot ³				Ages ³				% U-Pb disc ⁴	Concordant ages				
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1	abs		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1	abs	Rho	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1	abs	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		1	abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1	abs
Ju25e006	0,07663	0,00289	1,89073	0,08115	0,17908	0,00341	0,4	1112	42	1078	46	1062	20	1,5				
Ju25e007	0,04767	0,00772	0,14795	0,02367	0,02254	0,00086	0,2	83	13	140	22	144	5	-2,6				
Ju25e008	0,08022	0,00886	0,22583	0,02453	0,02045	0,00069	0,3	1202	133	207	22	130	4	36,9				
Ju25e009	0,06970	0,00543	0,16619	0,01305	0,01732	0,00044	0,3	920	72	156	12	111	3	29,1				
Ju25e010	0,41504	0,02194	3,12259	0,15601	0,05476	0,00185	0,7	3964	210	1438	72	344	12	76,1				
Ju25e011	0,08333	0,00787	0,26811	0,02524	0,02337	0,00067	0,3	1277	121	241	23	149	4	38,3				
Ju25e012	0,05459	0,00324	0,39457	0,02436	0,05259	0,00115	0,4	395	23	338	21	330	7	2,2	331	14		
Ju25e014	0,04963	0,00452	0,12437	0,01138	0,01825	0,00049	0,3	178	16	119	11	117	3	2,0	117	6		
Ju25e015	0,04881	0,00363	0,10928	0,00832	0,01619	0,00036	0,3	139	10	105	8	104	2	1,7	104	5		
Ju25e016	0,04705	0,00206	0,10035	0,00484	0,01549	0,00027	0,4	52	2	97	5	99	2	-2,0	99	4		
Ju25e017	0,05885	0,00259	0,73612	0,03553	0,09083	0,00168	0,4	562	25	560	27	560	10	-0,1	560	20		
Ju25e018	0,05862	0,00223	0,70439	0,03042	0,08727	0,00158	0,4	553	21	541	23	539	10	0,4	540	19		
Ju25e019	0,05639	0,00176	0,61203	0,02307	0,07884	0,00135	0,5	468	15	485	18	489	8	-0,9	489	16		
Ju25e020	0,04775	0,00175	0,11516	0,00485	0,01751	0,00031	0,4	87	3	111	5	112	2	-1,1	112	4		
Ju25e021	0,06153	0,00277	0,90585	0,04448	0,10670	0,00198	0,4	658	30	655	32	654	12	0,2	654	23		
Ju25e022	0,05121	0,00743	0,11889	0,01719	0,01686	0,00050	0,2	250	36	114	16	108	3	5,5				
Ju25e023	0,06167	0,00152	1,36421	0,04452	0,16069	0,00259	0,5	663	16	874	29	961	15	-9,9				
Ju25e024	0,05871	0,00211	0,73198	0,03035	0,09054	0,00160	0,4	556	20	558	23	559	10	-0,2	559	19		
Ju25e025	0,07608	0,00216	1,93261	0,06859	0,18443	0,00314	0,5	1097	31	1092	39	1091	19	0,1	1091	33		
Ju25e026	0,06406	0,00213	1,06193	0,04142	0,12066	0,00223	0,5	744	25	735	29	734	14	0,1	734	25		
Ju25e027	0,05872	0,00160	1,19944	0,04143	0,14847	0,00248	0,5	557	15	800	28	892	15	-11,5				
Ju25e028	0,05716	0,00322	0,63172	0,03688	0,08045	0,00183	0,4	498	28	497	29	499	11	-0,3	499	22		
Ju25e029	0,04904	0,00316	0,09900	0,00651	0,01468	0,00035	0,4	150	10	96	6	94	2	2,0	94	5		
Ju25e030	0,18379	0,00461	1,48129	0,04881	0,05850	0,00097	0,5	2687	67	923	30	366	6	60,3				
Ju25e031	0,06907	0,00231	1,44448	0,05716	0,15172	0,00260	0,4	901	30	908	36	911	16	-0,3	910	29		
Ju25e032	0,06772	0,00190	1,34569	0,04715	0,14421	0,00236	0,5	860	24	866	30	868	14	-0,3	868	26		
Ju25e033	_91500	0,07544	0,00286	1,90099	0,08152	0,18284	0,00339	0,4	1080	41	1081	46	1082	20	-0,1			
Ju25e037		0,04911	0,00184	0,12891	0,00552	0,01904	0,00032	0,4	153	6	123	5	122	2	1,2	122	4	
Ju25e038		0,05743	0,00186	0,63985	0,02462	0,08077	0,00134	0,4	508	16	502	19	501	8	0,3	501	16	
Ju25e039		0,07465	0,00186	1,38099	0,04529	0,13412	0,00214	0,5	1059	26	881	29	811	13	7,9			
Ju25e040		0,05536	0,00173	0,55221	0,02076	0,07228	0,00124	0,5	427	13	446	17	450	8	-0,8	450	15	
Ju25e041		0,05834	0,00187	0,72184	0,02757	0,08969	0,00149	0,4	543	17	552	21	554	9	-0,4	554	17	
Ju25e042		0,05050	0,00230	0,20787	0,01032	0,02983	0,00054	0,4	218	10	192	10	189	3	1,2	189	7	
Ju25e043		0,06299	0,00200	0,74018	0,02810	0,08523	0,00138	0,4	708	22	563	21	527	9	6,3			
Ju25e044		0,04670	0,00227	0,13694	0,00717	0,02125	0,00038	0,3	34	2	130	7	136	2	-4,0			
Ju25e045		0,06912	0,00198	1,43724	0,05115	0,15052	0,00252	0,5	902	26	905	32	904	15	0,1	904	28	
Ju25e046		0,07788	0,00216	0,66339	0,02311	0,06169	0,00100	0,5	1144	32	517	18	386	6	25,3			
Ju25e047		0,05016	0,00631	0,10960	0,01378	0,01584	0,00042	0,2	202	25	106	13	101	3	4,1			
Ju25e048		0,05298	0,00264	0,41489	0,02222	0,05676	0,00106	0,3	328	16	352	19	356	7	-1,0	356	13	
Ju25e049		0,05661	0,00164	0,61162	0,02196	0,07816	0,00128	0,5	476	14	485	17	485	8	-0,1	485	15	
Ju25e050		0,09015	0,00224	2,14094	0,06995	0,17212	0,00266	0,5	1429	35	1162	38	1024	16	11,9			
Ju25e051		0,06386	0,00557	0,13812	0,01216	0,01565	0,00037	0,3	737	64	131	12	100	2	23,8			
Ju25e052		0,04914	0,00248	0,10900	0,00591	0,01606	0,00028	0,3	155	8	105	6	103	2	2,2	103	4	
Ju25e053		0,05326	0,00139	0,37930	0,01279	0,05155	0,00080	0,5	340	9	327	11	324	5	0,8	324	10	
Ju25e054		0,07849	0,00243	2,17402	0,08035	0,19879	0,00343	0,5	1159	36	1173	43	1169	20	0,3	1170	36	
Ju25e055		0,37190	0,02549	6,64725	0,42214	0,12862	0,00560	0,7	3799	260	2066	131	780	34	62,2			
Ju25e056		0,07894	0,00204	2,17142	0,07267	0,19888	0,00314	0,5	1171	30	1172	39	1169	18	0,2	1170	32	
Ju25e057		0,06652	0,00223	1,31273	0,05138	0,14241	0,00245	0,4	823	28	851	33	858	15	-0,8	857	27	
Ju25e058		0,05701	0,00280	0,64171	0,03355	0,08085	0,00156	0,4	492	24	503	26	501	10	0,4	501	19	
Ju25e059		0,06516	0,00188	0,58702	0,02092	0,06512	0,00104	0,4	780	22	469	17	407	6	13,3			
Ju25e060		0,26389	0,01508	0,99013	0,05474	0,02690	0,00080	0,5	3270	187	699	39	171	5	75,5			
Ju25e061		0,05520	0,00272	0,52178	0,02692	0,06843	0,00124	0,4	420	21	426	22	427	8	-0,1	427	15	
Ju25e062		0,25789	0,01669	4,48268	0,28580	0,12560	0,00424	0,5	3234	209	1728	110	763	26	55,9			
Ju25e063		0,06931	0,00188	1,42350	0,04857	0,14892	0,00229	0,5	908	25	899	31	895	14	0,4	895	25	
Ju25e064		0,04783	0,00383	0,10342	0,00829	0,01558	0,00036	0,3	91	7	100	8	100	2	0,3	100	5	

Tab. 9.2: Ant 41.2

Sample	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$				Data for Wetherill plot ³				Ages ³				Concordant ages			
	1	abs	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Rho	1	abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1	abs	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1	abs	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1	abs	% U-Pb disc ⁴
Ma12a005	0,11282	0,00171	5,22672	0,10259	0,33620	0,00627	1,0	1845	28	1857	36	1868	35	-0,6	1847	21
Ma12a006	0,06304	0,00164	0,77864	0,02353	0,08941	0,00194	0,7	710	18	585	18	552	12	5,6		
Ma12a007	0,05454	0,00113	0,42356	0,01011	0,05632	0,00106	0,8	393	8	359	9	353	7	1,5	355	13
Ma12a008	0,05931	0,00103	0,71105	0,01532	0,08700	0,00164	0,9	578	10	545	12	538	10	1,4	544	18
Ma12a009	0,05906	0,00092	0,54865	0,01109	0,06735	0,00128	0,9	569	9	444	9	420	8	5,4		
Ma12a010	0,05444	0,00108	0,42444	0,01024	0,05652	0,00115	0,8	389	8	359	9	354	7	1,3	356	14
Ma12a011	0,05729	0,00104	0,65868	0,01474	0,08340	0,00160	0,9	503	9	514	11	516	10	-0,5	515	18
Ma12a012	0,05754	0,00101	0,66341	0,01467	0,08363	0,00164	0,9	512	9	517	11	518	10	-0,2	517	18
Ma12a013	0,05924	0,00127	0,72983	0,01803	0,08939	0,00170	0,8	576	12	556	14	552	11	0,8	554	19
Ma12a014	0,07373	0,00121	1,25110	0,02586	0,12281	0,00236	0,9	1034	17	824	17	747	14	9,4		
Ma12a015	0,07200	0,00148	0,88678	0,02169	0,08935	0,00178	0,8	986	20	645	16	552	11	14,4		
Ma12a016	0,06169	0,00144	0,65637	0,01721	0,07722	0,00148	0,7	663	15	512	13	480	9	6,4		
Ma12a017	0,07296	0,00114	1,69014	0,03498	0,16801	0,00332	1,0	1013	16	1005	21	1001	20	0,4	1009	21
Ma12a018	0,05913	0,00112	0,74405	0,01714	0,09131	0,00179	0,9	572	11	565	13	563	11	0,3	564	20
Ma12a019	0,07451	0,00117	1,89291	0,04050	0,18432	0,00382	1,0	1055	17	1079	23	1091	23	-1,1	1062	19
Ma12a020	0,06767	0,00142	0,70457	0,01743	0,07549	0,00150	0,8	858	18	542	13	469	9	13,4		
Ma12a021	0,05792	0,00107	0,66004	0,01515	0,08268	0,00167	0,9	527	10	515	12	512	10	0,5	514	18
Ma12a022	0,04980	0,00263	0,22015	0,01188	0,03206	0,00068	0,4	186	10	202	11	203	4	-0,7	203	9
Ma12a026	0,04998	0,00258	0,23778	0,01255	0,03453	0,00078	0,4	194	10	217	11	219	5	-1,0	219	10
Ma12a027	0,05821	0,00105	0,70606	0,01593	0,08801	0,00174	0,9	538	10	542	12	544	11	-0,2	543	19
Ma12a028	0,05949	0,00108	0,75810	0,01722	0,09245	0,00184	0,9	585	11	573	13	570	11	0,5	572	20
Ma12a029	0,07249	0,00134	1,64421	0,03770	0,16446	0,00324	0,9	1000	19	987	23	982	19	0,6	988	29
Ma12a030	0,05849	0,00119	0,72710	0,01783	0,09013	0,00180	0,8	548	11	555	14	556	11	-0,3	556	20
Ma12a031	0,05784	0,00111	0,68143	0,01619	0,08547	0,00172	0,8	524	10	528	13	529	11	-0,2	528	19
Ma12a032	0,05848	0,00114	0,69697	0,01665	0,08648	0,00173	0,8	548	11	537	13	535	11	0,4	536	19
Ma12a033	0,06583	0,00120	1,19077	0,02742	0,13127	0,00269	0,9	801	15	796	18	795	16	0,2	797	25
Ma12a034	0,17961	0,00270	14,10823	0,30559	0,56974	0,01224	1,0	2649	40	2757	60	2907	62	-5,4		
Ma12a035	0,06299	0,00108	0,99193	0,02263	0,11426	0,00242	0,9	708	12	700	16	697	15	0,3	701	22
Ma12a036	0,05956	0,00123	0,75202	0,01881	0,09159	0,00185	0,8	588	12	569	14	565	11	0,8	567	21
Ma12a037	0,06684	0,00177	0,96908	0,02852	0,10525	0,00210	0,7	833	22	688	20	645	13	6,2		
Ma12a038_91500	0,07525	0,00187	1,87518	0,05411	0,18103	0,00401	0,8	1075	27	1072	31	1073	24	0,0		
Ma12a039_91500	0,07496	0,00170	1,87506	0,05065	0,18141	0,00391	0,8	1067	24	1072	29	1075	23	-0,2		

Tab. 9.3: Ant 84

Sample	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 1 abs				Data for Wetherill plot ³				Rho	Ages ²				% U-Pb disc ⁴	Concordant ages	
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1	abs		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1	abs			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1	abs			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1
Ma13a005_91500	0,07578	0,00162	1,86044	0,05049	0,17796	0,00384	0,8	1089	23	1067	29	1056	23	1,1		
Ma13a006	0,35545	0,00831	6,16272	0,17143	0,12672	0,00293	0,8	3731	87	1999	56	769	18	61,5		
Ma13a007	0,08073	0,00136	2,34452	0,05439	0,21067	0,00422	0,9	1215	21	1226	28	1232	25	-0,5	1224	32
Ma13a008	0,05370	0,00224	0,38508	0,01707	0,05189	0,00122	0,5	358	15	331	15	326	8	1,4	326	15
Ma13a009	0,58692	0,01112	16,39612	0,39927	0,20265	0,00437	0,9	4476	85	2900	71	1190	26	59,0		
Ma13a010	0,25835	0,00639	4,78305	0,13642	0,13431	0,00296	0,8	3237	80	1782	51	812	18	54,4		
Ma13a011	0,06505	0,00135	1,14361	0,03076	0,12742	0,00272	0,8	776	16	774	21	773	17	0,1	774	28
Ma13a012	0,53438	0,01609	20,15341	0,64555	0,27352	0,00740	0,8	4339	131	3099	99	1559	42	49,7		
Ma13a013	0,68135	0,05886	3,30312	0,23453	0,03517	0,00201	0,8	4692	405	1482	105	223	13	85,0		
Ma13a014	0,54072	0,03371	9,27394	0,51751	0,12488	0,00526	0,8	4356	272	2365	132	759	32	67,9		
Ma13a015	0,49515	0,01352	9,75173	0,29458	0,14299	0,00361	0,8	4227	115	2412	73	862	22	64,3		
Ma13a016	0,05728	0,00181	0,61076	0,02172	0,07775	0,00176	0,6	502	16	484	17	483	11	0,3	483	21
Ma13a017	0,43835	0,00999	7,43659	0,20260	0,12309	0,00286	0,9	4046	92	2165	59	748	17	65,4		
Ma13a018	0,09117	0,00191	1,50709	0,04124	0,12010	0,00264	0,8	1450	30	933	26	731	16	21,7		
Ma13a019	0,28639	0,00683	4,14162	0,11824	0,10555	0,00243	0,8	3398	81	1663	47	647	15	61,1		
Ma13a021	1,82671	0,75782	36,68123	11,56381	0,14561	0,07347	1,6	6071	2519	3685	1162	876	442	76,2		
Ma13a022	0,56597	0,01147	18,23893	0,47087	0,23378	0,00530	0,9	4423	90	3002	78	1354	31	54,9		
Ma13a023	0,86640	0,02177	117,05360	3,76468	0,95807	0,02891	0,9	5067	124	4845	156	4332	131	10,6		
Ma13a024	0,51127	0,04095	8,68700	0,61744	0,12456	0,00630	0,7	4274	342	2306	164	757	38	67,2		
Ma13a025	0,48125	0,01178	10,54871	0,28039	0,15806	0,00333	0,8	4185	102	2484	66	946	20	61,9		
Ma13a029	0,38415	0,01142	9,20753	0,29490	0,17394	0,00426	0,8	3848	114	2359	76	1034	25	56,2		
Ma13a030	0,74589	0,01966	53,90768	1,72944	0,52455	0,01534	0,9	4822	127	4067	130	2718	79	33,2		
Ma13a031	0,78905	0,02013	79,54556	2,78877	0,73153	0,02390	0,9	4902	125	4456	156	3539	116	20,6		
Ma13a032	0,65754	0,01528	28,75325	0,78517	0,31745	0,00762	0,9	4641	108	3445	94	1777	43	48,4		
Ma13a033	0,66202	0,07701	0,63560	0,06065	0,00700	0,00050	0,8	4650	541	500	48	45	3	91,0		
Ma13a034	0,23461	0,02767	4,08443	0,45525	0,12727	0,00658	0,5	3084	364	1651	184	772	40	53,2		
Ma13a035	0,06399	0,00147	0,38430	0,01093	0,04360	0,00092	0,7	741	17	330	9	275	6	16,7		
Ma13a036	7,92932	21,09737	-48,05847	-31,53514	-0,04396	-0,11957	4,1	8024	21349			-290	-788			
Ma13a037	0,62882	0,01554	29,40538	0,84242	0,33956	0,00850	0,9	4576	113	3467	99	1885	47	45,6		
Ma13a038	0,68678	0,15125	7,41354	1,62828	0,07829	0,00820	0,5	4703	1036	2163	475	486	51	77,5		
Ma13a039	-4,52237	-9,67387	-6,68733	-4,91399	0,01211	0,02459	2,8					78	158			
Ma13a040	0,04931	0,00199	0,14420	0,00615	0,02127	0,00046	0,5	163	7	137	6	136	3	0,8	136	6
Ma13a041	0,52211	0,01246	3,01298	0,08193	0,04188	0,00095	0,8	4305	103	1411	38	264	6	81,3		
Ma13a042	0,04982	0,00528	0,09779	0,01038	0,01434	0,00040	0,3	187	20	95	10	92	3	3,1		
Ma13a043	0,05772	0,00134	0,67772	0,01855	0,08510	0,00166	0,7	519	12	525	14	526	10	-0,2	526	20
Ma13a044	0,05818	0,00213	0,67224	0,02710	0,08451	0,00193	0,6	537	20	522	21	523	12	-0,2	523	23
Ma13a045	0,06257	0,00284	0,22913	0,01099	0,02685	0,00066	0,5	694	31	209	10	171	4	18,5		
Ma13a046	0,74897	0,01906	40,21708	1,18360	0,38772	0,01012	0,9	4828	123	3776	111	2112	55	44,1		
Ma13a047	0,35057	0,01553	7,02595	0,30629	0,14734	0,00460	0,7	3709	164	2115	92	886	28	58,1		
Ma13a048	0,12421	0,00271	1,43026	0,03952	0,08361	0,00182	0,8	2018	44	902	25	518	11	42,6		
Ma13a049	0,48127	0,01191	7,47640	0,21068	0,11285	0,00263	0,8	4185	104	2170	61	689	16	68,2		
Ma13a050	2,32859	23,03745	1,04092	3,90663	0,00329	0,03011	2,4	6400	63322	724	2719	21	194	97,1		
Ma13a051	0,05070	0,00270	0,23310	0,01296	0,03383	0,00084	0,4	227	12	213	12	214	5	-0,8	214	10
Ma13a052	0,39832	0,01373	8,63260	0,30778	0,15719	0,00419	0,7	3903	135	2300	82	941	25	59,1		
Ma13a053	0,09317	0,00258	3,17222	0,09830	0,25099	0,00524	0,7	1491	41	1450	45	1444	30	0,5	1448	46
Ma13a054	0,38789	0,00883	7,01899	0,18898	0,13128	0,00286	0,8	3863	88	2114	57	795	17	62,4		
Ma13a055	0,33719	0,00722	6,45894	0,16949	0,13899	0,00298	0,8	3650	78	2040	54	839	18	58,9		
Ma13a056_91500	0,07456	0,00221	1,87512	0,06295	0,18282	0,00392	0,6	1057	31	1072	36	1082	23	-0,9		
Ma13a060	0,04766	0,00637	0,04366	0,00583	0,00667	0,00019	0,2	82	11	43	6	43	1	1,2	43	2
Ma13a061	0,99866	0,07617	45,88406	2,96046	0,36243	0,01733	0,7	5235	399	3907	252	1994	95	49,0		
Ma13a062	0,28829	0,39844	3,61609	4,95122	0,09101	0,03081	0,2	3408	4711	1553	2127	562	190	63,8		
Ma13a063	-5,30152	-8,18616	15,20483	7,50143	-0,02085	-0,03101	3,0			2828	1395	-136	-202	104,8		
Ma13a064	0,94479	0,21941	22,22423	6,01747	0,17079	0,04809	1,0	5157	1198	3194	865	1016	286	68,2		
Ma13a065	-1,08820	-2,48303	16,09667	28,54138	-0,10615	-0,23199	1,2			2883	5111	-723	-1581	125,1		
Ma13a067	0,49113	0,01274	14,93567	0,44173	0,22100	0,00542	0,8	4215	109	2811	83	1287	32	54,2		
Ma13a069	0,05844	0,00122	0,67995	0,01792	0,08440	0,00172	0,8	546	11	527	14	522	11	0,8	524	20
Ma13a070	0,75117	0,02334	52,16931	1,71621	0,50113	0,01357	0,8	4832	150	4035	133	2619	71	35,1		
Ma13a071	0,19250	0,00489	2,29869	0,07089	0,08731	0,00202	0,7	2764	70	1212	37	540	12	55,5		
Ma13a072	0,04913	0,00393	0,17592	0,01426	0,02633	0,00069	0,3	154	12	165	13	168	4	-1,8	168	9
Ma13a073	0,55406	0,02486	30,11638	1,41537	0,39674	0,01522	0,8	4392	197	3491	164	2154	83	38,3		
Ma13a074	0,15237	0,00702	0,55353	0,02644	0,02659	0,00069	0,5	2373	109	447	21	169	4	62,2		
Ma13a075	0,26765	0,00448	24,77275	0,58149	0,67159	0,01382	0,9	3292	55	3299	77	3312	68	-0,4	3294	34
Ma13a076	0,81508	0,02507	45,45625	1,53758	0,40607	0,01228	0,9	4948	152	3898	132	2197	66	43,6		
Ma13a077	0,30069	0,00754	5,24008	0,15440	0,12638	0,00290	0,8	3474	87	1859	55	767	18	58,7		
Ma13a078	0,53424	0,01562	6,87055	0,21875	0,09384	0,00242	0,8	4339	127	2095	67	578	15	72,4		
Ma13a079	0,48594	0,02118	5,04561	0,21398	0,07563	0,00233	0,7	4199	183	1827	77	470	14	74,3		

Tab. 9.4: Ant 90

Sample	Data for Wetherill plot ³										Ages ³				Concordant ages	
	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		Rho		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		% U-Pb disc ⁴		2 abs	
	1 abs	1 abs	1 abs	1 abs	1 abs	1 abs	1 abs	1 abs	1 abs	1 abs	1 abs	1 abs	1 abs	1 abs	1 abs	2 abs
Ma206006	0,07017	0,00340	1,48416	0,07405	0,15367	0,00239	0,3	933	45	924	46	922	14	0,3	922	27
Ma206007	0,06698	0,00309	1,28034	0,06110	0,13860	0,00206	0,3	837	39	837	40	837	12	0,0	837	23
Ma206008	0,05822	0,00306	0,72809	0,03915	0,09051	0,00144	0,3	538	28	555	30	559	9	-0,6	558	17
Ma206009	0,06413	0,00552	1,06435	0,09114	0,12066	0,00276	0,3	746	64	736	63	734	17	0,2	734	32
Ma206010	0,06022	0,00339	0,85707	0,04901	0,10309	0,00169	0,3	611	34	629	36	632	10	-0,6	632	20
Ma206011	0,05235	0,00341	0,37927	0,02485	0,05208	0,00093	0,3	301	20	327	21	327	6	-0,2	327	11
Ma206013	0,05497	0,00291	0,51559	0,02795	0,06806	0,00111	0,3	411	22	422	23	424	7	-0,5	424	13
Ma206014	0,12241	0,00582	1,36355	0,06659	0,08113	0,00129	0,3	1992	95	873	43	503	8	42,4		
Ma206017	0,05745	0,00285	0,67787	0,03455	0,08551	0,00133	0,3	509	25	525	27	529	8	-0,7	529	16
Ma206018	0,20720	0,01190	3,38628	0,19294	0,11873	0,00264	0,4	2884	166	1501	86	723	16	51,8		
Ma206019	0,09448	0,00455	1,00709	0,04985	0,07728	0,00119	0,3	1518	73	707	35	480	7	32,2		
Ma206021	0,06931	0,00339	1,46181	0,07345	0,15310	0,00241	0,3	908	44	915	46	918	14	-0,4	918	27
Ma206022	0,05660	0,00261	0,82390	0,03932	0,10549	0,00156	0,3	476	22	610	29	647	10	-5,9		
Ma206026	0,05553	0,00346	0,26302	0,01654	0,03431	0,00063	0,3	434	27	237	15	217	4	8,3		
Ma206028	0,06289	0,00293	1,00819	0,04860	0,11617	0,00174	0,3	705	33	708	34	708	11	-0,1	708	20
Ma206029	0,54025	0,02821	5,29364	0,27013	0,07075	0,00159	0,4	4355	227	1868	95	441	10	76,4		
Ma206030	0,05816	0,00290	0,71049	0,03647	0,08861	0,00142	0,3	536	27	545	28	547	9	-0,4	547	17
Ma206031	0,05969	0,00291	0,78370	0,03923	0,09546	0,00143	0,3	592	29	588	29	588	9	0,0	588	17
Ma206032	0,14262	0,00654	1,48987	0,07063	0,07575	0,00116	0,3	2259	104	926	44	471	7	49,2		
Ma206033	0,75764	0,32057	7,62474	3,44870	0,07301	0,02264	0,7	4844	2050	2188	990	454	141	79,2		
Ma206035	0,05722	0,00311	0,66024	0,03663	0,08364	0,00138	0,3	500	27	515	29	518	9	-0,6	518	16
Ma206039	0,79925	0,08922	1,51368	0,17561	0,01374	0,00142	0,9	4920	549	936	109	88	9	90,6		
Ma206040	0,13565	0,00695	1,49834	0,07823	0,08008	0,00139	0,3	2172	111	930	49	497	9	46,6		
Ma206043	0,05118	0,00591	0,19738	0,02251	0,02817	0,00077	0,2	249	29	183	21	179	5	2,1	179	10
Ma206044	0,52645	0,04069	15,42616	1,13447	0,21375	0,01011	0,6	4317	334	2842	209	1249	59	56,1		
Ma206045	0,13354	0,00617	1,37467	0,06573	0,07470	0,00117	0,3	2145	99	878	42	464	7	47,1		
Ma206046_91500	0,07742	0,00406	1,88814	0,10072	0,17927	0,00293	0,3	1132	59	1077	57	1063	17	1,3		

Tab. 9.5: Ant 113.1

Sample	Data for Wetherill plot ³				Ages ³				Concordant ages					
	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	Rho	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁸ U	1 abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 abs	% U-Pb disc ⁴	2 abs		
Ma20c005	0,12567	0,00518	0,57697	0,03297	0,00064	0,5	2038	84	463	19	209	4	54,8	
Ma20c006	0,08109	0,00200	0,44764	0,01249	0,04005	0,00059	0,5	1224	30	376	10	253	4	32,6
Ma20c007	0,04827	0,00488	0,10104	0,01012	0,01508	0,00037	0,2	113	11	98	10	96	2	1,3
Ma20c008	0,05814	0,00180	0,72744	0,02417	0,08999	0,00133	0,4	535	17	555	18	555	8	-0,1
Ma20c012	0,09080	0,00580	1,14970	0,07282	0,09075	0,00210	0,4	1442	92	777	49	560	13	27,9
Ma20c015	0,07476	0,00137	1,85294	0,04205	0,17982	0,00249	0,6	1062	19	1064	24	1066	15	-0,1
Ma20c016	0,10586	0,00581	1,25307	0,06802	0,08513	0,00190	0,4	1729	95	825	45	527	12	36,1
Ma20c017	0,05875	0,00175	0,73172	0,02373	0,09009	0,00139	0,5	558	17	558	18	556	9	0,3
Ma20c020	1,02703	0,10451	1,72660	0,18472	0,01220	0,00132	1,0	5275	537	1018	109	78	8	92,3
Ma20c021	0,05030	0,00208	0,23424	0,01004	0,03382	0,00055	0,4	209	9	214	9	214	4	-0,3
Ma20c024	0,07258	0,00198	1,67050	0,05055	0,16744	0,00261	0,5	1002	27	997	30	998	16	998
Ma20c027	0,04996	0,00207	0,24257	0,01039	0,03504	0,00058	0,4	193	8	221	9	222	4	-0,7
Ma20c028	0,05796	0,00167	0,64193	0,02014	0,08049	0,00120	0,5	528	15	504	16	499	7	0,9
Ma20c029	0,04115	0,00449	0,29648	0,03227	0,05227	0,00112	0,2	-278	-30	264	29	328	7	-24,6
Ma20c030	0,05888	0,00207	0,73480	0,02719	0,09045	0,00146	0,4	563	20	559	21	558	9	0,2
Ma20c034_91500	0,07673	0,00313	1,92162	0,08095	0,18177	0,00319	0,4	1114	45	1089	46	1077	19	1,1
Ma20c036	0,05161	0,00255	0,27041	0,01356	0,03806	0,00067	0,4	268	13	243	12	241	4	0,9
Ma20c037	0,05734	0,00268	0,27801	0,01322	0,03519	0,00061	0,4	505	24	249	12	223	4	10,5
Ma20c038	0,50434	0,01760	5,91591	0,19743	0,08512	0,00201	0,7	4254	148	1964	66	527	12	73,2
Ma20c039	0,06397	0,00335	1,07598	0,05686	0,12212	0,00232	0,4	741	39	742	39	743	14	-0,1
Ma20c040	0,21284	0,00778	2,88460	0,10575	0,09829	0,00193	0,5	2927	107	1378	51	604	12	56,1
Ma20c041	0,18571	0,00603	2,66840	0,08890	0,10455	0,00193	0,6	2705	88	1320	44	641	12	51,4
Ma20c042	0,41498	0,01955	6,87071	0,29984	0,12076	0,00349	0,7	3964	187	2095	91	735	21	64,9
Ma20c043	0,05624	0,00143	0,60579	0,01730	0,07822	0,00114	0,5	462	12	481	14	485	7	-1,0
Ma20c045	0,16370	0,00755	1,79679	0,08212	0,07965	0,00169	0,5	2494	115	1044	48	494	10	52,7
Ma20c046	0,07429	0,00271	0,32111	0,01223	0,03137	0,00051	0,4	1049	38	283	11	199	3	29,6
Ma20c047	0,05826	0,00201	0,72568	0,02641	0,09042	0,00140	0,4	540	19	554	20	558	9	-0,7
Ma20c050	0,05722	0,00137	0,64827	0,01777	0,08220	0,00119	0,5	500	12	507	14	509	7	-0,4
Ma20c051	0,05715	0,00147	0,64382	0,01848	0,08176	0,00118	0,5	497	13	505	14	507	7	-0,4
Ma20c054	0,06795	0,00114	1,32399	0,02883	0,14121	0,00198	0,6	867	15	856	19	852	12	0,6
Ma20c055	0,47765	0,00926	10,99616	0,25598	0,16888	0,00266	0,7	4174	81	2523	59	1006	16	60,1
Ma20c056	0,05933	0,00216	0,67893	0,02575	0,08486	0,00138	0,4	579	21	526	20	525	9	0,2

Tab. 9.6: Ant 113.2

Sample	Data for Wetherill plot ³				Ages ³								Concordant ages									
	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1	abs		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1	abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1	abs	Rho	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1	abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1	abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1	abs	% U-Pb disc ⁴	2
Ma21a005	0,05854	0,00208	0,71942	0,02288	0,08874	0,00171	0,6	550	20	550	17	548	11	0,4	548	20						
Ma21a006	0,05029	0,00351	0,20841	0,01397	0,03005	0,00066	0,3	208	15	192	13	191	4	0,7	191	8						
Ma21a007	0,05699	0,00134	0,63556	0,01144	0,08111	0,00143	1,0	491	12	500	9	503	9	-0,6	493	12						
Ma21a008	0,05826	0,00177	0,68025	0,01762	0,08480	0,00153	0,7	540	16	527	14	525	9	0,4	525	18						
Ma21a009	0,09327	0,00202	1,11206	0,01719	0,08664	0,00155	1,2	1493	32	759	12	536	10	29,4								
Ma21a012	0,05733	0,00133	0,62186	0,01090	0,07887	0,00139	1,0	504	12	491	9	489	9	0,3	496	9						
Ma21a013	0,09168	0,00206	3,23315	0,05478	0,25580	0,00469	1,0	1461	33	1465	25	1468	27	-0,2	1462	8						
Ma21a014	0,08684	0,00202	2,77391	0,04918	0,23205	0,00421	1,0	1357	32	1349	24	1345	24	0,2	1353	9						
Ma21a015	0,05726	0,00165	0,62924	0,01534	0,07983	0,00146	0,8	502	14	496	12	495	9	0,1	495	17						
Ma21a016	0,06087	0,00622	0,84117	0,08339	0,10018	0,00287	0,3	635	65	620	61	615	18	0,7	616	34						
Ma21a017	0,05703	0,00158	0,62610	0,01444	0,07970	0,00145	0,8	493	14	494	11	494	9	-0,1	494	17						
Ma21a018	0,05676	0,00189	0,59464	0,01752	0,07598	0,00144	0,6	482	16	474	14	472	9	0,4	472	17						
Ma21a019	0,09960	0,00241	3,92779	0,07553	0,28579	0,00540	1,0	1617	39	1619	31	1620	31	-0,1	1618	13						
Ma21a021	0,08802	0,00345	1,23061	0,04345	0,10146	0,00202	0,6	1383	54	815	29	623	12	23,5								
Ma21a022	0,05713	0,00211	0,63814	0,02118	0,08105	0,00154	0,6	497	18	501	17	502	10	-0,2	502	18						
Ma21a024	0,05552	0,00167	0,21292	0,00548	0,02787	0,00050	0,7	433	13	196	5	177	3	9,6								
Ma21a026	0,08662	0,00164	1,02619	0,01217	0,08607	0,00152	1,5	1352	26	717	9	532	9	25,8								
Ma21a027	0,05760	0,00170	0,62657	0,01544	0,07914	0,00142	0,7	515	15	494	12	491	9	0,6	492	17						
Ma21a028	0,07286	0,00289	0,81747	0,02930	0,08141	0,00162	0,6	1010	40	607	22	505	10	16,8								
Ma21a029	0,07765	0,00228	2,06016	0,05152	0,19253	0,00373	0,8	1138	33	1136	28	1135	22	0,1	1136	34						
Ma21a030	0,05992	0,00157	0,78214	0,01650	0,09474	0,00169	0,8	601	16	587	12	584	10	0,5	586	18						
Ma21a031	0,07559	0,00204	1,91646	0,04253	0,18409	0,00339	0,8	1084	29	1087	24	1089	20	-0,2	1087	30						
Ma21a032	0,07584	0,00269	1,89108	0,05961	0,18080	0,00358	0,6	1091	39	1078	34	1071	21	0,6								
Ma21a036	0,06058	0,00437	0,24787	0,01709	0,02969	0,00073	0,4	624	45	225	15	189	5	16,1								
Ma21a037	0,05048	0,00616	0,23125	0,02778	0,03325	0,00079	0,2	217	26	211	25	211	5	0,2	211	10						
Ma21a038	0,06051	0,00139	0,66999	0,01183	0,08036	0,00145	1,0	622	14	521	9	498	9	4,3								
Ma21a039	0,05745	0,00219	0,66877	0,02329	0,08444	0,00168	0,6	509	19	520	18	523	10	-0,5	522	20						
Ma21a040	0,05181	0,00267	0,29789	0,01446	0,04172	0,00087	0,4	277	14	265	13	263	6	0,5	264	11						
Ma21a041	0,04956	0,00600	0,11968	0,01410	0,01752	0,00053	0,3	174	21	115	14	112	3	2,5								
Ma21a042	0,06112	0,00232	0,86809	0,02987	0,10304	0,00205	0,6	643	24	635	22	632	13	0,4	633	24						
Ma21a043	0,04894	0,00209	0,20322	0,00802	0,03013	0,00058	0,5	145	6	188	7	191	4	-1,9	191	7						
Ma21a044	0,13734	0,00623	0,32614	0,01328	0,01722	0,00040	0,6	2194	99	287	12	110	3	61,6								
Ma21a045	0,05068	0,00372	0,23918	0,01696	0,03426	0,00074	0,3	226	17	218	15	217	5	0,3	217	9						
Ma21a046	0,05792	0,00171	0,66583	0,01681	0,08338	0,00153	0,7	527	16	518	13	516	9	0,4	517	18						
Ma21a047	0,07765	0,00221	2,04361	0,04901	0,19106	0,00368	0,8	1138	32	1130	27	1127	22	0,3	1130	33						
Ma21a048	0,05893	0,00210	0,71681	0,02295	0,08832	0,00169	0,6	565	20	549	18	546	10	0,6	546	20						
Ma21a049	0,07237	0,00341	1,67075	0,07235	0,16808	0,00375	0,5	996	47	997	43	1002	22	-0,4	1001	40						
Ma21a050	0,07742	0,00201	2,06705	0,04326	0,19359	0,00354	0,9	1132	29	1138	24	1141	21	-0,2	1137	28						
Ma21a051	0,07095	0,00175	1,55857	0,02996	0,15956	0,00285	0,9	956	24	954	18	954	17	0,0	954	21						
Ma21a052	0,06006	0,00173	0,83133	0,02024	0,10041	0,00183	0,7	606	17	614	15	617	11	-0,4	616	20						
Ma21a053	0,05892	0,00149	0,73737	0,01498	0,09072	0,00167	0,9	564	14	561	11	560	10	0,2	561	17						
Ma21a054	0,11930	0,00262	1,25012	0,01992	0,07599	0,00138	1,1	1946	43	823	13	472	9	42,7								
Ma21a055	0,05905	0,00191	0,72717	0,02057	0,08942	0,00172	0,7	569	18	555	16	552	11	0,5	553	20						
Ma21a056	0,05722	0,00186	0,61130	0,01750	0,07816	0,00151	0,7	500	16	484	14	485	9	-0,2	485	18						
Ma21a057	0,05386	0,00217	0,46279	0,01685	0,06257	0,00119	0,5	365	15	386	14	391	7	-1,3	391	14						
Ma21a058	0,25172	0,02299	0,05149	0,00425	0,00149	0,00006	0,5	3196	292	51	4	10	0	81,2								
Ma21a059	0,05820	0,00258	0,68279	0,02803	0,08542	0,00176	0,5	537	24	528	22	528	11	0,0	528	31						
Ma21a060	0,06545	0,00156	1,14308	0,02056	0,12711	0,00223	1,0	789	19	774	14	771	14	0,3	778	14						
Ma21a061	0,05084	0,00323	0,25633	0,01549	0,03682	0,00084	0,4	234	15	232	14	233	5	-0,6	233	10						
Ma21a062	0,05221	0,00306	0,31318	0,01740	0,04364	0,00091	0,4	295	17	277	15	275	6	0,5	275	11						
Ma21a064	0,05297	0,00172	0,67602	0,01928	0,09273	0,00173	0,7	328	11	524	15	572	11	-9,0								
Ma21a065	0,08320	0,00437	2,51919	0,12386	0,21953	0,00491	0,5	1274	67	1278	63	1279	29	-0,1	1279	50						
Ma21a066	0,07398	0,00170	1,73666	0,03055	0,17098	0,00323	1,0	1041	24	1022	18	1018	19	0,5	1030	8						
Ma21a067	0,04725	0,00664	0,03914	0,00542	0,00602	0,00015	0,2	62	9	39	5	39	1	0,8	39	2						
Ma21a068	0,05760	0,00156	0,67061	0,01489	0,08443	0,00152	0,8	515	14	521	12	523	9	-0,3	522	17						

Tab. 9.7: Ant 165.1

Sample	Data for Wetherill plot ³										Ages ³					Concordant ages	
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 1 abs		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 1 abs		Rho		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 1 abs		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 1 abs		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 1 abs		% U-Pb disc ⁴		2 abs		
	1	abs	1	abs	1	abs	1	abs	1	abs	1	abs	1	abs	1	abs	
Ma12a005	0.11282	0.00171	5.22672	0.10259	0.33620	0.00627	1.0	1845	28	1857	36	1868	35	-0.6	1847	21	
Ma12a006	0.06304	0.00164	0.77864	0.02353	0.08941	0.00194	0.7	710	18	585	18	552	12	5.6			
Ma12a007	0.05454	0.00113	0.42356	0.01011	0.05632	0.00106	0.8	393	8	359	9	353	7	1.5	355	13	
Ma12a008	0.05931	0.00103	0.71105	0.01532	0.08700	0.00164	0.9	578	10	545	12	538	10	1.4	544	18	
Ma12a009	0.05906	0.00092	0.54865	0.01109	0.06735	0.00128	0.9	569	9	444	9	420	8	5.4			
Ma12a010	0.05444	0.00108	0.42444	0.01024	0.05652	0.00115	0.8	389	8	359	9	354	7	1.3	356	14	
Ma12a011	0.05729	0.00104	0.65868	0.01474	0.08340	0.00160	0.9	503	9	514	11	516	10	-0.5	515	18	
Ma12a012	0.05754	0.00101	0.66341	0.01467	0.08363	0.00164	0.9	512	9	517	11	518	10	-0.2	517	18	
Ma12a013	0.05924	0.00127	0.72983	0.01803	0.08939	0.00170	0.8	576	12	556	14	552	11	0.8	554	19	
Ma12a014	0.07373	0.00121	1.25110	0.02586	0.12281	0.00236	0.9	1034	17	824	17	747	14	9.4			
Ma12a015	0.07200	0.00148	0.88678	0.02169	0.08935	0.00178	0.8	986	20	645	16	552	11	14.4			
Ma12a016	0.06169	0.00144	0.65637	0.01721	0.07722	0.00148	0.7	663	15	512	13	480	9	6.4			
Ma12a017	0.07296	0.00114	1.69014	0.03498	0.16801	0.00332	1.0	1013	16	1005	21	1001	20	0.4	1009	21	
Ma12a018	0.05913	0.00112	0.74405	0.01714	0.09131	0.00179	0.9	572	11	565	13	563	11	0.3	564	20	
Ma12a019	0.07451	0.00117	1.89291	0.04050	0.18432	0.00382	1.0	1055	17	1079	23	1091	23	-1.1	1062	19	
Ma12a020	0.06767	0.00142	0.70457	0.01743	0.07549	0.00150	0.8	858	18	542	13	469	9	13.4			
Ma12a021	0.05792	0.00107	0.66004	0.01515	0.08268	0.00167	0.9	527	10	515	12	512	10	0.5	514	18	
Ma12a022	0.04980	0.00263	0.22015	0.01188	0.03206	0.00068	0.4	186	10	202	11	203	4	-0.7	203	9	
Ma12a026	0.04998	0.00258	0.23778	0.01255	0.03453	0.00078	0.4	194	10	217	11	219	5	-1.0	219	10	
Ma12a027	0.05821	0.00105	0.70606	0.01593	0.08801	0.00174	0.9	538	10	542	12	544	11	-0.2	543	19	
Ma12a028	0.05949	0.00108	0.75810	0.01722	0.09245	0.00184	0.9	585	11	573	13	570	11	0.5	572	20	
Ma12a029	0.07249	0.00134	1.64421	0.03770	0.16446	0.00324	0.9	1000	19	987	23	982	19	0.6	988	29	
Ma12a030	0.05849	0.00119	0.72710	0.01783	0.09013	0.00180	0.8	548	11	555	14	556	11	-0.3	556	20	
Ma12a031	0.05784	0.00111	0.68143	0.01619	0.08547	0.00172	0.8	524	10	528	13	529	11	-0.2	528	19	
Ma12a032	0.05848	0.00114	0.69697	0.01665	0.08648	0.00173	0.8	548	11	537	13	535	11	0.4	536	19	
Ma12a033	0.06583	0.00120	1.19077	0.02742	0.13127	0.00269	0.9	801	15	796	18	795	16	0.2	797	25	
Ma12a034	0.17961	0.00270	14.10823	0.30559	0.56974	0.01224	1.0	2649	40	2757	60	2907	62	-5.4			
Ma12a035	0.06299	0.00108	0.99193	0.02263	0.11426	0.00242	0.9	708	12	700	16	697	15	0.3	701	22	
Ma12a036	0.05956	0.00123	0.75202	0.01881	0.09159	0.00185	0.8	588	12	569	14	565	11	0.8	567	21	
Ma12a037	0.06684	0.00177	0.96908	0.02852	0.10525	0.00210	0.7	833	22	688	20	645	13	6.2			
Ma12a038_91500	0.07525	0.00187	1.87518	0.05411	0.18103	0.00401	0.8	1075	27	1072	31	1073	24	0.0			
Ma12a039_91500	0.07496	0.00170	1.87506	0.05065	0.18141	0.00391	0.8	1067	24	1072	29	1075	23	-0.2			

Tab. 9.8: Ant 165.2

Sample	Data for Wetherill plot ³				Ages ³				% U-Pb disc ⁴	Concordant ages						
	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1	abs	Rho	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1	abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		1	abs	2	abs			
Ma13c006	0,05725	0,00120	0,65722	0,02368	0,08347	0,00269	0,9	501	10	513	18	517	17	-0,8	513	29
Ma13c007	0,05014	0,00232	0,20682	0,01120	0,03003	0,00099	0,6	201	9	191	10	191	6	0,1	191	12
Ma13c008	0,44087	0,01083	10,11686	0,37113	0,16674	0,00546	0,9	4055	100	2446	90	994	33	59,3		
Ma13c009	0,52357	0,01489	10,44701	0,40289	0,14510	0,00495	0,9	4309	123	2475	95	873	30	64,7		
Ma13c010	0,26707	0,00614	3,73769	0,13499	0,10149	0,00322	0,9	3289	76	1579	57	623	20	60,5		
Ma13c011	0,45072	0,01169	1,91920	0,07140	0,03092	0,00102	0,9	4088	106	1088	40	196	6	82,0		
Ma13c012	0,07561	0,00155	1,85574	0,06552	0,17845	0,00561	0,9	1085	22	1065	38	1059	33	0,7	1069	45
Ma13c013	0,08557	0,00161	2,67610	0,09228	0,22744	0,00714	0,9	1328	25	1322	46	1321	41	0,1	1322	44
Ma13c014	0,48066	0,01049	11,81311	0,42646	0,17905	0,00590	0,9	4183	91	2590	93	1062	35	59,0		
Ma13c017	0,08732	0,00191	0,48095	0,01736	0,04001	0,00126	0,9	1368	30	399	14	253	8	36,6		
Ma13c018	0,05067	0,00257	0,23935	0,01375	0,03421	0,00110	0,6	226	11	218	13	217	7	0,5	217	14
Ma13c019	0,41393	0,01543	7,94756	0,36137	0,14036	0,00527	0,8	3960	148	2225	101	847	32	61,9		
Ma13c020	0,15392	0,00552	0,46125	0,02106	0,02179	0,00075	0,8	2390	86	385	18	139	5	63,9		
Ma13c021	0,13066	0,00235	1,12210	0,03828	0,06240	0,00196	0,9	2107	38	764	26	390	12	48,9		
Ma13c022	0,07642	0,00142	1,93121	0,06511	0,18280	0,00562	0,9	1106	21	1092	37	1082	33	0,9	1098	41
Ma13c023	0,18912	0,00472	2,43641	0,09264	0,09363	0,00304	0,9	2735	68	1253	48	577	19	54,0		
Ma13c024	0,81917	0,02445	17,18547	0,67142	0,15245	0,00550	0,9	4955	148	2945	115	915	33	68,9		
Ma13c025	0,05198	0,00129	0,32914	0,01251	0,04596	0,00145	0,8	285	7	289	11	290	9	-0,3	289	18
Ma13c026	0,05855	0,00173	0,70157	0,02882	0,08694	0,00276	0,8	550	16	540	22	537	17	0,4	538	32
Ma13c027	0,51360	0,01459	9,08225	0,35122	0,12830	0,00440	0,9	4281	122	2346	91	778	27	66,8		
Ma13c028	-0,92779	-0,03713	-2,66133	-0,11505	0,02087	0,00084	0,9					133	5			
Ma13c029	0,07712	0,00169	2,03334	0,07514	0,19151	0,00616	0,9	1124	25	1127	42	1130	36	-0,2	1126	49
Ma13c030	0,27082	0,00624	3,76834	0,13843	0,10110	0,00328	0,9	3311	76	1586	58	621	20	60,9		
Ma13c031	0,47088	0,01716	6,57017	0,29250	0,10125	0,00377	0,8	4153	151	2055	92	622	23	69,8		
Ma13c032	0,05631	0,00295	0,56978	0,03377	0,07314	0,00245	0,6	465	24	458	27	455	15	0,6	455	29
Ma13c033	0,32265	0,02216	2,11167	0,14432	0,04751	0,00217	0,7	3583	246	1153	79	299	14	74,0		
Ma13c034	0,07583	0,00141	1,89893	0,06574	0,18190	0,00576	0,9	1091	20	1081	37	1077	34	0,3	1083	42
Ma13c035	0,05838	0,00177	0,68973	0,02913	0,08581	0,00278	0,8	544	17	533	22	531	17	0,4	531	32
Ma13c036	0,05633	0,00131	0,58265	0,02216	0,07511	0,00243	0,9	465	11	466	18	467	15	-0,2	466	28
Ma13c037	0,68325	0,01773	6,12822	0,22737	0,06505	0,00220	0,9	4696	122	1994	74	406	14	79,6		
Ma13c042_91500	0,07811	0,00196	1,92837	0,07531	0,17932	0,00584	0,8	1150	29	1091	43	1063	35	2,5		
Ma13c044	0,05710	0,00120	0,61010	0,02194	0,07745	0,00245	0,9	495	10	484	17	481	15	0,6	483	27
Ma13c045	0,04857	0,00134	0,12120	0,00479	0,01809	0,00057	0,8	127	3	116	5	116	4	0,5	116	7
Ma13c046	0,06482	0,00124	1,15922	0,03938	0,12905	0,00399	0,9	768	15	782	27	782	24	-0,1	781	36
Ma13c047	0,69791	0,02085	18,58685	0,73525	0,19303	0,00695	0,9	4726	141	3021	119	1138	41	62,3		
Ma13c048	0,04712	0,00690	0,10599	0,01566	0,01630	0,00065	0,3	55	8	102	15	104	4	-1,9	104	8
Ma13c049	0,76875	0,02358	18,42948	0,74048	0,17411	0,00636	0,9	4865	149	3012	121	1035	38	65,7		
Ma13c050	0,06999	0,00129	1,45932	0,05010	0,15111	0,00474	0,9	928	17	914	31	907	28	0,7	918	39
Ma13c051	0,27709	0,00906	2,50412	0,10550	0,06549	0,00222	0,8	3347	109	1273	54	409	14	67,9		
Ma13c052	0,26870	0,00956	3,85378	0,17331	0,10405	0,00370	0,8	3298	117	1604	72	638	23	60,2		
Ma13c053	0,24233	0,01239	3,91002	0,21923	0,11699	0,00447	0,7	3135	160	1616	91	713	27	55,9		
Ma13c054	0,05805	0,00206	0,68278	0,03108	0,08523	0,00275	0,7	532	19	528	24	527	17	0,2	528	32
Ma13c055	0,07516	0,00237	1,26674	0,05506	0,12213	0,00404	0,8	1073	34	831	36	743	25	10,6		
Ma13c057	0,05026	0,00150	0,20392	0,00856	0,02939	0,00095	0,8	207	6	188	8	187	6	0,9	187	12
Ma13c058	0,05182	0,00812	0,19093	0,02999	0,02734	0,00118	0,3	277	43	177	28	174	8	2,0	174	15
Ma13c059	0,05211	0,00326	0,22643	0,01550	0,03149	0,00107	0,5	290	18	207	14	200	7	3,6		
Ma13c060	0,07714	0,00237	2,14538	0,08937	0,20186	0,00635	0,8	1125	35	1164	48	1185	37	-1,9	1167	57
Ma13c061	0,04856	0,00223	0,12135	0,00652	0,01816	0,00058	0,6	127	6	116	6	116	4	0,2	116	7
Ma13c062	0,05718	0,00174	0,62676	0,02629	0,07949	0,00255	0,8	498	15	494	21	493	16	0,2	493	29
Ma13c063	0,57674	0,02291	10,06500	0,45383	0,12636	0,00500	0,9	4450	177	2441	110	767	30	68,6		
Ma13c064	0,09917	0,00184	2,53777	0,08775	0,18541	0,00581	0,9	1609	30	1283	44	1096	34	14,5		
Ma13c065	0,05671	0,00118	0,62560	0,02248	0,08002	0,00252	0,9	480	10	493	18	496	16	-0,6	494	28

Tab. 9.9: Ant 330

Sample	Data for Wetherill plot ³				Ages ³				Concordant ages						
	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 abs	Rho	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 abs	% U-Pb disc ⁴	2 abs	4	
Ju24c006	0,04812	0,00205	0,10124	0,00452	0,01520	0,00028	0,4	105	4	98	4	0,7	97	4	
Ju24c007	0,47275	0,05707	2,81583	0,28924	0,04320	0,00328	0,7	4158	502	1360	140	79,9	273	21	
Ju24c008	0,05287	0,00336	0,41783	0,02678	0,05681	0,00123	0,3	323	21	354	23	-0,5	356	15	
Ju24c009	0,08423	0,00314	3,59811	0,14222	0,30914	0,00617	0,5	1298	48	1549	61	-12,1	1736	35	
Ju24c010	0,06023	0,00576	0,91774	0,08702	0,10951	0,00309	0,3	612	59	661	63	-1,3	670	19	
Ju24c011	0,04746	0,00696	0,11918	0,01740	0,01822	0,00048	0,2	72	11	114	17	-1,8	116	6	
Ju24c013	0,04772	0,00319	0,10889	0,00733	0,01655	0,00032	0,3	85	6	105	7	-0,8	106	4	
Ju24c014	0,04632	0,00204	0,10724	0,00490	0,01679	0,00028	0,4	14	1	103	5	-3,8	107	2	
Ju24c015	0,05641	0,00244	0,43750	0,01963	0,05637	0,00108	0,4	469	20	368	17	4,1	354	7	
Ju24c016	0,04784	0,00597	0,11848	0,01469	0,01797	0,00046	0,2	91	11	114	14	-1,0	115	3	
Ju24c017	0,04836	0,00245	0,11545	0,00600	0,01732	0,00032	0,4	117	6	111	6	0,2	111	4	
Ju24c018	0,79643	0,05074	8,90714	0,46764	0,08095	0,00381	0,9	4915	313	2329	122	78,5	502	24	
Ju24c019	0,04828	0,00234	0,11413	0,00568	0,01715	0,00030	0,4	113	5	110	5	0,1	110	4	
Ju24c020	0,04730	0,00852	0,10676	0,01913	0,01637	0,00047	0,2	64	12	103	18	-1,6	105	6	
Ju24c021	0,04677	0,00379	0,11172	0,00905	0,01733	0,00038	0,3	37	3	108	9	-3,0	111	2	
Ju24c022	0,77456	0,04336	7,67018	0,35705	0,07167	0,00293	0,9	4876	273	2193	102	79,7	446	18	
Ju24c023	0,19107	0,00808	0,64240	0,02690	0,02440	0,00055	0,5	2751	116	504	21	69,2	155	4	
Ju24c024	0,04765	0,00277	0,11118	0,00651	0,01694	0,00033	0,3	82	5	107	6	-1,2	108	4	
Ju24c025	0,05451	0,00460	0,49118	0,04124	0,06544	0,00164	0,3	392	33	406	34	-0,7	409	10	
Ju24c026	0,07019	0,00264	0,15452	0,01597	0,00029	0,5	934	35	146	6	102	2	30,0	102	2
Ju24c030	0,07454	0,00263	1,86818	0,07013	0,18211	0,00335	0,5	1056	37	1070	40	-0,8	1078	20	
Ju24c031	0,76567	0,04094	432,45984	438,15154	4,09573	4,14873	1,0	4859	260	6165	6246	-70,3	10497	10633	
Ju24c032	0,05569	0,00412	0,13753	0,01016	0,01790	0,00038	0,3	440	33	131	10	12,6	114	2	
Ju24c033	0,05862	0,00206	0,13641	0,00509	0,01688	0,00028	0,4	553	19	130	5	16,9	108	2	
Ju24c034	0,05085	0,00716	0,23600	0,03241	0,03339	0,00110	0,2	234	33	215	30	7	212	7	
Ju24c035	0,10233	0,00465	4,12272	0,18671	0,29335	0,00648	0,5	1667	76	1659	75	0,0	1658	59	
Ju24c036	0,04796	0,00449	0,13504	0,01261	0,02043	0,00046	0,2	97	9	129	12	-1,4	130	6	
Ju24c037	0,07814	0,00222	2,07500	0,06474	0,19297	0,00339	0,6	1150	33	1141	36	0,3	1137	20	
Ju24c038	0,05003	0,00426	0,14273	0,01209	0,02070	0,00047	0,3	196	17	135	11	2,5	132	3	
Ju24c039	0,29417	0,00827	0,94265	0,02764	0,02322	0,00046	0,7	3440	97	674	20	78,1	148	3	
Ju24c040	0,07840	0,00245	2,00370	0,06559	0,18614	0,00315	0,5	1157	36	1117	37	1,5	1100	19	
Ju24c041	0,05373	0,00308	0,41583	0,02399	0,05628	0,00112	0,3	360	21	353	20	0,0	353	7	
Ju24c042	0,36433	0,01398	1,73529	0,06349	0,03451	0,00084	0,7	3768	145	1022	37	78,6	219	5	
Ju24c043	0,29489	0,01442	1,08758	0,04966	0,02670	0,00073	0,6	3444	168	747	34	77,3	170	5	
Ju24c044	0,04946	0,00445	0,16793	0,01501	0,02460	0,00055	0,3	170	15	158	14	0,6	157	4	
Ju24c045	0,04726	0,00330	0,10056	0,00694	0,01543	0,00032	0,3	62	4	97	7	-1,5	99	2	
Ju24c046	0,08743	0,00698	1,53138	0,11971	0,12718	0,00349	0,4	1370	109	943	74	18,2	772	21	
Ju24c047	0,07691	0,00391	1,93481	0,09883	0,18256	0,00372	0,4	1119	57	1093	56	1,1	1081	22	

Tab. 9.10: Ant 357.1

Sample	Data for Wetherill plot ³				Ages ³				Concordant ages						
	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 abs	Rho	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 abs	% U-Pb disc ⁴	1 abs	2 abs			
Ju24d006	0.73272	0.03208	8.06137	0.28038	0.07980	0.00264	1.0	4796	210	2238	78	495	16	77.9	
Ju24d007	0.04967	0.01235	0.15379	0.03775	0.02239	0.00098	0.2	180	45	145	36	143	6	1.7	143
Ju24d008	0.04933	0.00219	0.14921	0.00650	0.02188	0.00038	0.4	164	7	141	6	140	2	1.2	140
Ju24d009	0.04943	0.00375	0.11192	0.00835	0.01643	0.00033	0.3	168	13	108	8	105	2	2.5	105
Ju24d010	0.08389	0.01058	0.20253	0.02467	0.01743	0.00064	0.3	1290	163	187	23	111	4	40.5	
Ju24d011	0.05236	0.00659	0.10792	0.01330	0.01524	0.00047	0.2	301	38	104	13	98	3	6.3	
Ju24d012	0.08967	0.00210	0.27716	0.00640	0.02241	0.00035	0.7	1419	33	248	6	143	2	42.5	
Ju24d013	0.04846	0.00529	0.11856	0.01265	0.01772	0.00048	0.3	122	13	114	12	113	3	0.5	113
Ju24d014	0.17770	0.00541	1.74246	0.05007	0.07112	0.00131	0.6	2632	80	1024	29	443	8	56.8	
Ju24d015	0.04818	0.00274	0.11791	0.00657	0.01780	0.00032	0.3	108	6	113	6	114	2	-0.5	114
Ju24d016	0.04810	0.00261	0.11170	0.00597	0.01684	0.00030	0.3	104	6	108	6	108	2	-0.1	108
Ju24d017	0.05182	0.00579	0.15746	0.01725	0.02286	0.00065	0.3	277	31	148	16	146	4	1.9	146
Ju24d018	0.05300	0.00687	0.13189	0.01674	0.01909	0.00061	0.3	329	43	126	16	122	4	3.1	
Ju24d019	0.09781	0.00492	0.21921	0.01061	0.01626	0.00034	0.4	1583	80	201	10	104	2	48.3	
Ju24d020	0.05434	0.00216	0.42226	0.01650	0.05715	0.00097	0.4	385	15	358	14	358	6	-0.2	358
Ju24d021	0.04924	0.00208	0.12144	0.00501	0.01793	0.00030	0.4	159	7	116	5	115	2	1.6	115
Ju24d022	0.04824	0.00291	0.10640	0.00628	0.01612	0.00031	0.3	111	7	103	6	103	2	-0.4	104
Ju24d023	0.06480	0.00306	0.21161	0.00978	0.02369	0.00043	0.4	768	36	195	9	151	3	22.6	
Ju24d024	0.20253	0.04199	0.47512	0.09079	0.01953	0.00161	0.4	2847	590	395	75	125	10	68.4	
Ju24d025	0.04819	0.00123	0.11646	0.00300	0.01761	0.00028	0.6	109	3	112	3	113	2	-0.6	113
Ju24d026	0.04739	0.00327	0.15049	0.01019	0.02303	0.00047	0.3	69	5	142	10	147	3	-3.1	
Ju24d027_91500	0.07665	0.00330	1.85064	0.07800	0.17695	0.00346	0.5	1112	48	1064	45	1050	21	1.3	
Ju24d032	0.13112	0.00719	0.11963	0.00623	0.00662	0.00015	0.4	2113	116	115	6	43	1	62.9	
Ju24d033	0.13351	0.00195	7.31453	0.10443	0.39511	0.00549	1.0	2145	31	2151	31	2146	30	0.2	2154
Ju24d034	0.05845	0.00140	0.73906	0.01729	0.09161	0.00131	0.6	547	13	562	13	565	8	-0.6	564
Ju24d035	0.05921	0.00399	0.76221	0.05028	0.09367	0.00202	0.3	575	39	575	38	577	12	-0.3	577
Ju24d036	0.07115	0.00123	1.59366	0.02782	0.16248	0.00241	0.8	962	17	968	17	971	14	-0.3	967
Ju24d037	0.33504	0.01526	1.32588	0.05269	0.02871	0.00078	0.7	3640	166	857	34	182	5	78.7	
Ju24d038	0.06183	0.00148	0.67829	0.01610	0.07962	0.00122	0.6	668	16	526	12	494	8	6.1	
Ju24d039	0.73196	0.06492	22.21374	2.75323	0.22048	0.02707	1.0	4795	425	3193	396	1284	158	59.8	
Ju24d040	0.04838	0.00384	0.11313	0.00876	0.01699	0.00037	0.3	118	9	109	8	109	2	0.2	109
Ju24d041	0.04830	0.00382	0.12234	0.00949	0.01838	0.00041	0.3	114	9	117	9	117	3	-0.2	117
Ju24d042	0.04762	0.00323	0.10902	0.00726	0.01680	0.00036	0.3	80	5	105	7	107	2	-2.2	107
Ju24d043	0.04888	0.00142	0.11107	0.00320	0.01649	0.00025	0.5	142	4	107	3	105	2	1.4	106
Ju24d044	0.04973	0.00226	0.15423	0.00686	0.02258	0.00040	0.4	182	8	146	6	144	3	1.2	144
Ju24d045	0.05049	0.00135	0.12026	0.00318	0.01728	0.00027	0.6	218	6	115	3	110	2	4.2	
Ju24d046	0.05352	0.00130	0.41637	0.01000	0.05644	0.00085	0.6	351	8	353	8	354	5	-0.1	354
Ju24d047	0.05802	0.00215	0.69651	0.02522	0.08718	0.00146	0.5	531	20	537	19	539	9	-0.4	539
Ju24d048	0.24641	0.01135	0.73239	0.03049	0.02152	0.00054	0.6	3162	146	558	23	137	3	75.4	
Ju24d050	0.04861	0.00264	0.11794	0.00627	0.01762	0.00031	0.3	129	7	113	6	113	2	0.5	113
Ju24d051	0.04770	0.00222	0.11246	0.00514	0.01711	0.00029	0.4	84	4	108	5	109	2	-1.1	110
Ju24d052	0.05163	0.00435	0.11189	0.00921	0.01571	0.00037	0.3	269	23	108	9	100	2	6.7	

Tab. 9.11: Ant 357.2