

ALMA MATER STUDIORUM A.D. 1088
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea Magistrale in Geologia e Territorio

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Tesi di Laurea Magistrale

**Ricostruzione cartografica delle località Nemegt e Khulsan,
(deserto del Gobi, Omnògovi, Mongolia)**

Candidato:

Luana Angelicola

Relatore:

Prof. Luigi Cantelli

Correlatore:

Prof. Federico Fanti

Sessione Luglio 2017
Anno Accademico 2016-2017

Indice

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduzione | 1 |
| 2 | Inquadramento dell'area di studio | 2 |
| 2.1 | Inquadramento geografico | 2 |
| 2.2 | Inquadramento geologico..... | 4 |
| 3 | Cartografia disponibile | 8 |
| 3.1 | Cartografia generale | 10 |
| 3.2 | Khulsan..... | 11 |
| 3.3 | Nemegt | 13 |
| 3.3.1 | Northern Nemegt | 13 |
| 3.3.2 | Central Nemegt | 13 |
| 3.3.3 | Southern Nemegt | 14 |
| 3.3.4 | Altan Uul III | 18 |
| 3.3.5 | Tsagaan Khushuu..... | 19 |
| 4 | Correlazioni stratigrafiche | 20 |
| 4.1 | Località Khulsan | 21 |
| 4.2 | Località Nemegt | 22 |
| 5 | Materiali e metodi | 24 |
| 5.1 | Fotogrammetria e processing dati..... | 24 |
| 5.2 | Ground Control Points | 25 |
| 5.3 | Elaborazione su ArcMap..... | 26 |
| 5.4 | Elaborazione su ENVI | 27 |
| 6 | Georeferenziazione della cartografia storica e analisi della distorsione dei dati..... | 28 |
| 6.1 | Khulsan..... | 29 |
| 6.2 | Northern Nemegt..... | 31 |
| 6.3 | Central Nemegt..... | 33 |
| 6.4 | Southern Nemegt..... | 36 |
| 7 | Modello digitale del terreno..... | 37 |
| 7.1 | Khulsan..... | 38 |
| 7.2 | Nemegt | 39 |
| 8 | Carta topografica | 45 |
| 8.1 | Khulsan (D)..... | 47 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 8.2 | Northern Nemegt (A) | 49 |
| 8.3 | Central Nemegt (B) | 51 |
| 8.4 | Southern Nemegt (C) | 53 |
| 8.5 | Altan Uul III | 55 |
| 8.6 | Tsagaan Khushuu | 55 |
| 9 | Carta geologica | 56 |
| 9.1 | Analisi spettrale | 56 |
| 9.2 | Analisi di ortofoto | 60 |
| 9.2.1 | Carta geologica relativa alla località Khulsan | 61 |
| 9.2.2 | Carta geologica relativa alla località Nemegt | 65 |
| 10 | Definizione dell'incertezza | 68 |
| 10.1 | Errore sui dati relativi alla località Khulsan..... | 69 |
| 10.2 | Errore sui dati relativi alla località Nemegt | 69 |
| 11 | Discussione | 72 |
| 12 | Conclusioni | 82 |
| | Bibliografia | 83 |

1 Introduzione

Il bacino del Nemegt ha acquisito una notevole importanza da quando, in seguito alla prima spedizione organizzata dalla *Russian Academy of Sciences* nel 1946, furono organizzate numerose campagne che hanno documentato la presenza di unità tra le più ricche al mondo in fossili di dinosauro.

Le diverse spedizioni scientifiche che negli anni hanno interessato il bacino, si sono concentrate su una serie di località. Tra queste, la località Khulsan e la località Nemegt sono state studiate a fondo dalle *Polish-Mongolian Paleontological Expeditions* nel 1964, 1965, 1970 e 1971. Durante queste spedizioni, un gruppo di scienziati guidati da R. Gradzinski ha prodotto delle mappe di riferimento che avevano lo scopo primario di fornire una base su cui ubicare principalmente gli scavi paleontologici, oltre a sezioni stratigrafiche semplificate e i punti di riferimento utilizzati per la realizzazione di questa prima cartografia dell'area. Queste mappe sono state realizzate in maniera molto semplice e speditiva per cui risultano inadeguate per avere una documentazione topografica completa e significativa dell'area.

Gli studi sulla geologia della Mongolia vanno avanti da più di 100 anni, nonostante questo la bibliografia esistente ci mette a disposizione solamente cartografia a piccola scala riferita, nella maggior parte dei casi, a porzioni relativamente ampie della Mongolia.

Sono pochi gli studi geologici pubblicati a grande scala per cui non sono presenti lavori che si concentrino dettagliatamente sulle località specifiche di Khulsan e Nemegt, di conseguenza non disponiamo della cartografia geologica di riferimento per questo studio.

L'obiettivo di questa tesi infatti è quello di fornire i primi rilievi topografici e geologici di grande dettaglio con lo scopo di migliorare la comprensione della geologia della zona, analizzare i rapporti stratigrafici tra le varie unità presenti e correlare le diverse località di interesse per la ricerca paleontologica.

Vengono presentati e discussi i risultati ottenuti in seguito alla spedizione del 2016, finanziata da un Grant della National Geographic Society (Waitts Grant Program W434-16) e dal Sistema Museale di Ateneo dell'Università di Bologna, per la realizzazione di mappe topografiche ad elevata risoluzione.

Durante la spedizione sono state investigate tramite rilievo aereo 4 zone differenti, due di minore entità areale come Altan Uul III e Tsagaan Khushuu, e due di grandi dimensioni, studiate in maniera più approfondita: la località Khulsan e la località Nemegt.

Grazie all'elaborazione fotogrammetrica delle immagini ottenute dal rilievo aereo sono stati ricostruiti il modello digitale del terreno e da qui successivamente l'ortofoto specifica di ogni località; su questa base sono state realizzate le diverse mappe.

La cartografia geologica è stata ricostruita sulle mappe basandosi sul rilevamento geologico e sulle sezioni stratigrafiche misurate durante l'estate del 2016 integrate da un'analisi fotointerpretativa, dall'analisi spettrale e da analisi d'immagine (ortofoto).

Infine è stata realizzata una cartografia G.I.S. con tutte le informazioni raccolte in maniera da renderle facilmente consultabili in un'unica mappa: quote e punti di riferimento, geologia, morfologia, siti di scavo paleontologico e sezioni stratigrafiche di riferimento.

2 Inquadramento dell'area di studio

2.1 Inquadramento geografico

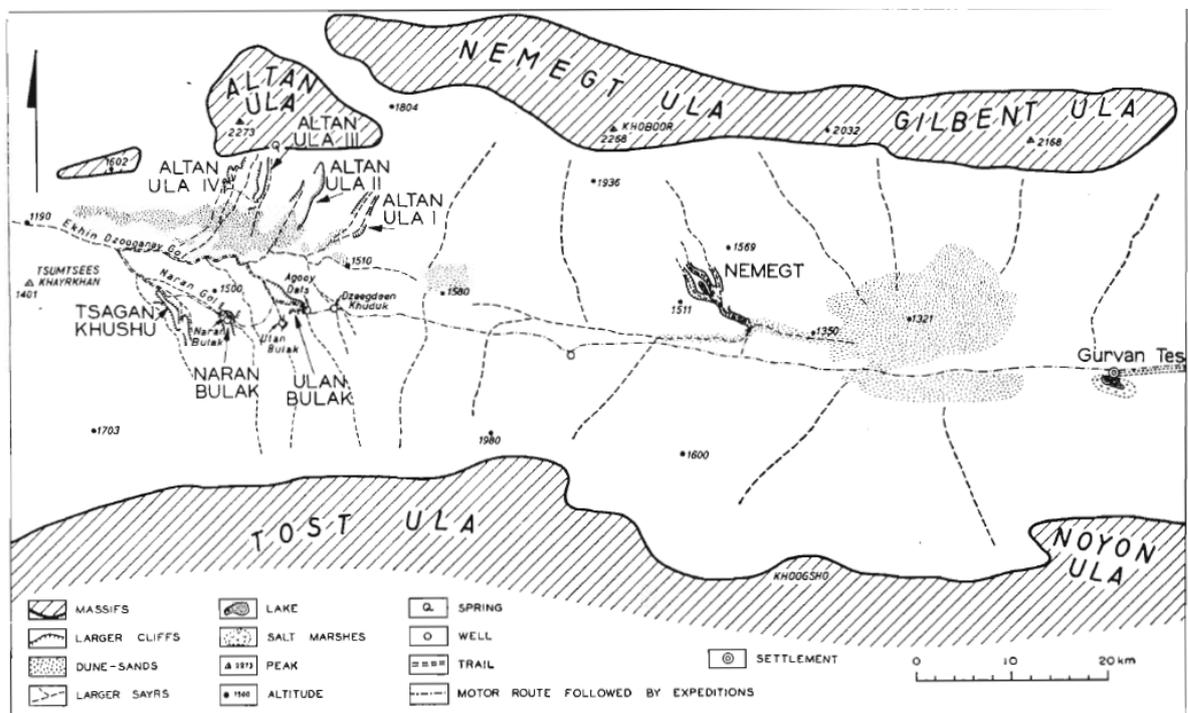
Il bacino del Nemegt è situato nella parte meridionale della Mongolia ed in particolare in una porzione ristretta del deserto del Gobi, nella regione di Omnògovi. Ad oggi la regione è poco documentata dal punto di vista cartografico, ad eccezione di alcune mappe a bassa risoluzione ottenute durante campagne di ricerche paleontologiche tra gli anni '20 e '60 del secolo scorso.

Il bacino del Nemegt, rappresenta una porzione della grande depressione del deserto del Gobi con andamento E-O; è stato generato dall'estensione di un vasto graben nel Mesozoico/Terziario ma a causa dell'assenza di marker stratigrafici significativi è difficile risalire ad un'età precisa della strutturazione tettonica, (Cunningham et al., 2009; Cunningham, 2013; Rippington et al., 2013).

Si tratta di un graben bordato da massicci tettonici, riempito da rocce sedimentarie del tardo Cretaceo-Paleogene, insieme a serie continentali che si sono depositate durante il tardo Mesozoico-Terziario, (Cunningham et al., 2009; Cunningham, 2013; Rippington et al., 2013).

Sulla base delle mappe presenti in letteratura, questo bacino è stato geograficamente definito come delimitato a Nord dai massicci di Altan Uul, Nemegt Uul e Gilbert Uul, a Sud da quelli di Tost Uul e Noyon Uul, (Gradzinski et al., 1968); per comodità ad Est si può utilizzare come limite Gurvan Tes e ad Ovest il monte Tsumtsees Khayrkhan.

Spostandosi da Ovest verso Est il bacino ha un'estensione di circa 115 km.



Le diverse spedizioni (*Polish-Mongolian Paleontological Expeditions*) che dagli anni '60 hanno documentato la geologia e la paleontologia dell'area hanno esplorato in modo sistematico una serie di località (da est a ovest: Khulsan/Nemegt, Altan Uul I-IV, Tsagaan Khushuu, Naran Bulak, Ulan Bulak, Khermeen Tsav, Burgiin Tsav/Gurlin Tsav) e la suddivisione che ha portato a distinguere la località Khulsan/Nemegt dalle altre è stata introdotta da Gradzinski nel 1968, il quale si riferiva ad una vasta zona estesa in direzione NO-SE, situata a S-SE del monte Khoboor (Fig. 1). In questo lavoro l'intera località era sotto il nome "Nemegt".

Questa, è stata suddivisa in lavori successivi, dallo stesso autore, insieme a Jerzikiewicz (1972) in due località geograficamente e stratigraficamente distinte: la prima definita "Khulsan" ad Est, e l'altra ubicata circa 6 km in direzione O-NO, chiamata "Nemegt".

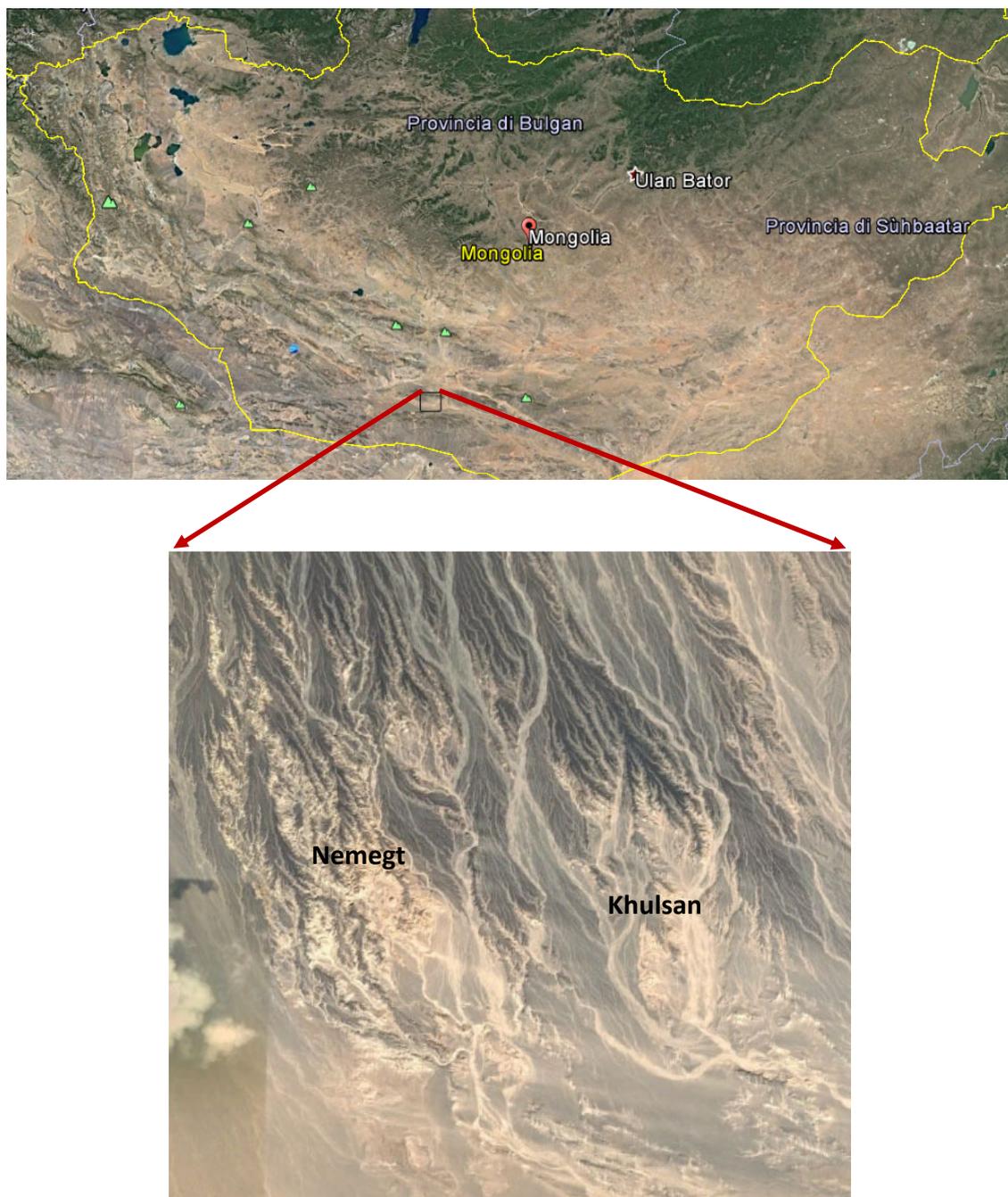


Fig.2- Foto satellitare della Mongolia (in alto) con dettaglio sulle località Nemegt e Khulsan (in basso).
(Immagini di Google Earth-Image Landsat/Copernicus)/data di acquisizione: 28/09/2007.

Nel corso degli ultimi 80 anni diversi gruppi di ricercatori hanno pubblicato articoli scientifici sul bacino del Nemegt, trascrivendo nomi di località, villaggi e toponimi in modo diverso. Per questo motivo in letteratura si riscontrano spesso variazioni nella nomenclatura. In questo studio viene seguita quella proposta da Benton et al. nel 2001, che negli ultimi anni ha rappresentato uno standard per tutti i ricercatori.

| Nomenclatura storica | Nomenclatura (Benton et al., 2001) |
|--------------------------|------------------------------------|
| Altan Ula I, II, III, IV | Altan Uul I, II, III, IV |
| Burgiin Tsav | Bugiin Tsav |
| Gilbent Ula | Gilbent Uul |
| Khermeen Tsav | Hermiin Tsav |
| Khulsan | Khulsan |
| Naran Bulak | Naran Bulak |
| Nemegt | Nemegt |
| Nemegt Ula | Nemegt Uul |
| Noyoun Ula | Noyon Uul |
| Tost Ula | Tost Uul |
| Tsagan Khushu | Tsagaan Khusuu |
| Ulan Bulak | Ulaan Bulak |
| Ulan Khushu | Ulaan Khushuu |

Tab.1

In questa tesi lo studio verte sulle località Khulsan e Nemegt, che sono quelle che hanno suscitato il maggior interesse dal punto di vista paleontologico.

Queste sono state studiate a fondo da diversi ricercatori e durante le diverse spedizioni un gruppo di scienziati guidati da R. Gradzinski ha prodotto una mappa di riferimento per la località Khulsan e tre mappe di riferimento per la località Nemegt, una per la parte settentrionale (*Northern Nemegt*), una per la parte centrale (*Central Nemegt*) e una per la parte meridionale (*Southern Nemegt*).

Per rendere il dato leggibile e per poter analizzare le differenze tra i nuovi dati e quelli presenti in letteratura, viene mantenuta in questa tesi la suddivisione delle mappe proposta negli articoli con i relativi toponimi.

2.2 Inquadramento geologico

I primi dati geologici generali sul bacino del Nemegt provengono da Efremov (1950, 1954, 1955), Novozhilov (1954a), Marinov (1957), Rozhdestensky (1957,1965, 1971, 1974) e Vasilev et al. (1959).

I sedimenti del Cretaceo Superiore presenti nel bacino furono riesaminati durante successive spedizioni organizzate dal *Paleozoological Institute of the Polish Academy of Sciences* e dall' *Institute of Biological Sciences, Academy of Sciences of the Mongolian*

People's Republic (1963-1965). Durante queste campagne furono trovate 34 specie diverse di dinosauro e altre specie fossili ma soprattutto furono svolti studi geologici più approfonditi per investigare problemi di carattere sedimentologico.

I diversi autori (Gradzinski et al., 1968; Gradzinski, 1970; Gradzinski and Jerzikiewicz, 1972, 1974a, b; Gradzinski et al., 1977), che negli anni hanno documentato la paleontologia e la stratigrafia del bacino, hanno dato interpretazioni diverse sulla sua evoluzione.

I sedimenti affioranti nelle porzioni centrali e settentrionali del bacino sono riferibili al Cretaceo Superiore mentre nella porzione meridionale si trovano sedimenti paleogenici che sono stati successivamente classificati più dettagliatamente come eocenici (Efremov, 1954a; Novozhilov, 1954a; Marinov, 1957).

All'interno del bacino del Nemegt è possibile individuare la successione affiorante nelle zone caratterizzate da *canyons* incisi da diversi *sayr*, definiti come letti asciutti di fiumi intermittenti: il *Western sayr*, *Central sayr*, *Northern sayr* e *Eastern sayr* che nella parte meridionale della località Nemegt si congiungono in un unico *main sayr* (Gradzinski et al., 1968).

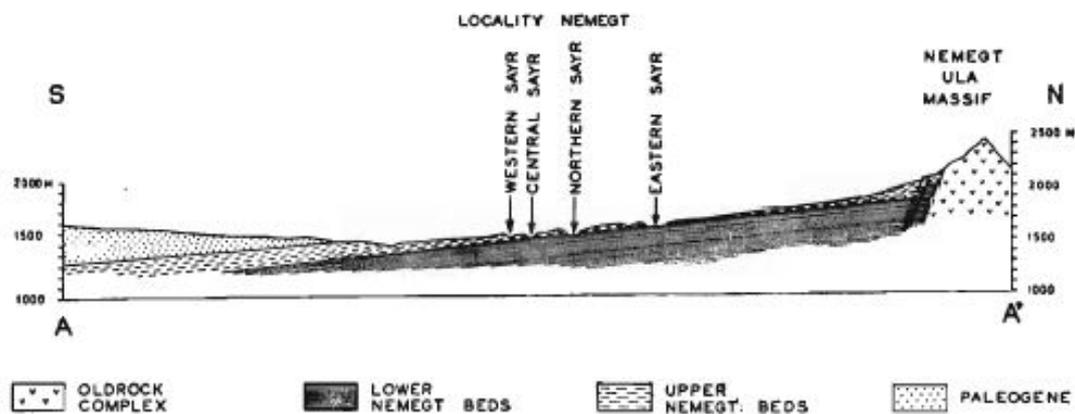


Fig.3 – Sezione geologica del bacino del Nemegt (modificata da: Gradzinski, 1970).

Gradzinski e i suoi colleghi proposero un primo studio stratigrafico delle località Khulsan e Nemegt nel 1968, in cui identificavano nei sedimenti del Cretaceo Superiore una prima suddivisione basata sulla diversa litologia e sulle diverse faune presenti.

La parte inferiore, chiamata "*Lower Nemegt*" è caratterizzata principalmente da arenarie rossastre a grana fine alternate a sottili strati di silt con colori che vanno dal rosso al marrone. La parte superiore chiamata "*Upper Nemegt*" consiste principalmente in sabbie poco consolidate e silt di colore chiaro. Questa suddivisione corrisponde a quella definita da Efremov nel 1954 come "*unfossiliferous series*" e "*fossiliferous series*", (Gradzinski, 1968; Gradzinski and Jerzikiewicz, 1974a).

La correlazione delle sezioni stratigrafiche spedite abbinate alla ricostruzione topografica realizzate in quegli anni ha portato nella località Nemegt ad una stima dello spessore dell'intera successione di circa 85 m, di cui 30 m stimati per la "*Lower Nemegt*" e 50 m per l'"*Upper Nemegt*", (Gradzinski and Jerzikiewicz, 1974a).

Sono presenti inoltre, due *pediments* di età differente: uno più antico, maggiormente evoluto e caratterizzato da colori tendenzialmente scuri e uno più giovane, legato al recente sistema di drenaggio, (Gradzinski, 1970).

La stratigrafia proposta in questi primi studi è stata successivamente approfondita in numerose pubblicazioni volte a documentare la stratigrafia e le associazioni di fossili presenti all'interno del bacino del Nemegt. (Benton et al., 2001; Jerzykiewicz, 2001; Jerzykiewicz and Russell, 1991; Osmólska, H. 1997a, b; Shuvalov, 2001; Weishampel et al., 2004)

La successione affiorante è stata formalizzata tra le località Khulsan e Nemegt. In particolare le unità affioranti sono state suddivise in Fm. Baruungoyot, che corrisponde alla “*Lower Nemegt*” e la più giovane, sovrastante Fm. Nemegt che corrisponde all’“*Upper Nemegt*”, oltre ai due *pediments* citati sopra definiti come *Younger* e *Older Pediment*, riferiti rispettivamente a superficie di *alluvium* e superficie di dilavamento, (Gradzinski, 1970; Gradzinski and Jerzykiewicz, 1974b; Gradzinski et al., 1977; Osmólska, 1977a,b; Eberth et al., 2009; Fanti et al., 2012; Fanti et al., 2017)

- Formazione Baruungoyot: successione riferibile ad un contesto alluvionale (canali, piana inondabile e *floodbasin*), lacustre ed eolico, in particolare formato da depositi di duna e interduna (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1974 a). Gli strati tabulari di colore rossastro sono formati da sedimenti a grana fine, mudstone con tracce di invertebrati, di dinosauri e abbondanti bioturbazioni soprattutto nei mudstone di *overbank* e di canali abbandonati, (Gradzinski, 1970; Gradzinski et al., 1977; Eberth et al., 2009; Fanti et al., 2012).
- Formazione Nemegt: depositi di canali alluvionali sabbiosi, *splay* e *sheetflood* da sabbiosi a granulari (ventagli distali) con colori tipici che vanno dal grigio chiaro al marrone chiaro. Spesso sono presenti *caliches*, cementati alla base della sequenza fining-upward dei paleocanali (Gradzinski, 1970; Gradzinski et al., 1977; Eberth et al., 2009; Fanti et al., 2012).

Il contatto tra le due formazioni era stato interpretato da Efremov nel 1954 come un contatto erosivo. R. Gradzinski definì invece il contatto tra le due formazioni come un contatto graduale non ben distinguibile caratterizzato da uno spessore di 16-18 m, a cui dava il nome di “*Passage Series*” (Gradzinski et al., 1968), osservabile principalmente nella fascia centrale della località Nemegt e in piccola parte anche nella zona settentrionale. Questo si trova alla base della formazione Nemegt ed è rappresentato da sottili strati di conglomerati o brecce con ciottoli intraformazionali, e talvolta strati o lenti di arenarie simili a quelli della sottostante formazione, (Gradzinski et al., 1968; Gradzinski et al., 1977; Gradzinski and Russell, 1991).

La natura di questo intervallo non era stata del tutto compresa da questi autori, infatti durante la spedizione del 2006 è stata maggiormente approfondita la relazione stratigrafica tra la Fm. Baruungoyot e la Fm. Nemegt documentando una zona di interdigitazione che presenta uno spessore maggiore rispetto a quello definito nel 1968, infatti si parla di circa 23 m. Questo intervallo indica un periodo in cui gli ambienti e le faune relative alle 2 formazioni coesistevano, (Eberth et al., 2009).

Jerzykiewicz (2001) e Ebert (2009) sono tra gli autori più recenti che hanno studiato la stratigrafia nelle località Khulsan e Nemegt e hanno permesso di analizzare in maniera più approfondita questo contatto, in particolare nei *canyons* del *Central Sayr* dove affiora bene la transizione tra le due formazioni.

Negli studi più recenti (Fanti et al., 2012; Fanti et al., 2017), come anche in questa tesi, viene documentato nella località Nemegt uno spessore di 25 m in cui le due formazioni si interdigitano confermando la coesistenza di un ambiente fluviale e uno eolico durante la sedimentazione all'interno del bacino (Fanti et al., 2012). Questo intervallo di interdigitazione (*interfingering*) è stato interpretato come evidenza della progradazione verso SE della formazione Nemegt dovuta all'uplift nella porzione Nord dell'area sorgente con conseguente aumento del tasso di sedimentazione e del gradiente deposizionale ed una diminuzione della zona di alloggiamento ("*accomodation*" di Eberth et al., 2009).

Per quanto riguarda i fossili presenti all'interno della successione stratigrafica, molti resti ben preservati, compresi scheletri interi di dinosauro si trovano proprio nell'intervallo di *interfingering*, oltre ad impronte e bioturbazioni.

All'interno della Fm. Baruungoyot, nella località Khulsan, i taxa individuati includono *Bagaceratops rostdestvenskii*, *Saichania chulsanensis*, *Tarchia gigantea*, *Parvicursor remotus*, *?Mononykus sp.*, *Avimimus cf. portentosus*, *Tylocephale gilmorei*, *Gobipteryx minuta* oltre a gusci d'uovo e mammiferi (Elzanowski, 1974, 1977; Kielan-Jaworowska, 1974; Mikhailov et al., 1994; Longrich et al., 2010; Arbour et al., 2014; Varricchio and Barta, 2015)

Il Northern Nemegt è rappresentativo esclusivamente della Formazione Nemegt e i taxa collezionati comprendono *Tarbosaurus bataar*, *Gallimimus bullatus*, *Elmisaurus rarus*, *Bagaraatan ostromi*, *Barsboldia sicinskii*, *Saurolophus angustirostris*, *Homalocephale calathocercos*, *Prenocephale prenes*, resti di sauropodi, pesci, tartaruche, ostracodi, bivalvi e sono presenti anche siti a impronte, (Szczechura and Blaszyk, 1970; Gradzinski and Jerzykiewicz, 1972; Mlynarski, 1972; Mlynarski and Narmandach, 1972; Currie et al., 2003; Currie, 2016).

Nel Central Nemegt sono stati collezionati: *Tarbosaurus bataar*, *Gallimimus bullatus*, *Avimimus portentosus*, *Nemegtomaia barsboldi*, *Saurolophus angustirostris*, *Homalocephale calathocercos*, *Nemegtosaurus mongoliensis*, pesci, gusci d'uovo, siti a impronte e tracce di invertebrati (Nowinski, 1971; Gradzinski and Jerzykiewicz 1972; Sulimski, 1972, 1978; Currie et al., 2003; Fanti et al., 2012; Currie, 2016; Funston et al., 2016).

Infine nel Southern Nemegt, la Formazione Nemegt scompare definitivamente e gli unici sedimenti affioranti sono quelli della Formazione Baruungoyot in cui si trovano resti ben preservati di tartarughe, gusci d'uovo e scheletri di mammiferi (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1972; Mlynarski, 1972).

I diversi affioramenti discontinui all'interno del bacino hanno portato ad ipotizzare una continuità stratigrafica delle formazioni spostandosi da Est, dove affiorano le unità più vecchie ad Ovest dove affiorano le unità più giovani.

La stratigrafia dell'intero bacino è in realtà suddivisa in tre formazioni appartenenti al Cretaceo Superiore: Djadokhta, Baruungoyot e Nemegt (Jerzykiewicz and Russell, 1991; Hasegawa et al., 2009), ma la formazione Djadokhta non affiora nelle località di interesse.

Cronostratigraficamente non esistono ad oggi dei marker diretti (datazioni radioisotopiche) nel bacino del Nemegt e di conseguenza per le datazioni delle diverse unità presenti sono stati utilizzati criteri biostratigrafici.

Su questa base viene ipotizzato che la Djadokhta è riferibile al Coniaciano/Santoniano, la Fm. Baruungoyot è riferibile al Campaniano e la Fm. Nemegt al Maastrichtiano, (Jerzikiewicz and Russell, 1991; Shuvalov, 2000; Dashzeveg, 2005; Hasegawa et al., 2009).

| Periodo | Epoca | Formazione | Ma |
|---|-----------------------|--------------------|--------------|
| C R E T A C E O S U P E R I O R E | Maastrichtiano | Nemegt | 66-72 |
| | Campaniano | Baruungoyot | 72-83 |
| | Coniaciano-Santoniano | Djadokhta | 83-89 |

3 Cartografia disponibile

Tra le diverse località presenti all'interno del bacino, si è visto come la località Khulsan e la località Nemegt siano le più significative sia dal punto di vista paleontologico sia dal punto di vista stratigrafico.

Le mappe topografiche della Mongolia disponibili durante le prime spedizioni erano inadeguate per una documentazione paleontologica significativa pertanto i geologi guidati da R. Gradzinski cominciarono a disegnare (a mano) schizzi cartografici relativi soprattutto alle località fossilifere più importanti (Currie, 2016).

Negli articoli proposti in seguito alle spedizioni avvenute tra il 1968 e il 1974 gli autori fornirono dati sulla sedimentologia, sull'analisi di facies, sulle indicazioni biostratigrafiche e presentarono mappe di riferimento che fino ad oggi erano le uniche disponibili, (Gradzinski et al., 1968; Gradzinski and Jerzikiewicz, 1972; Gradzinski and Jerzikiewicz, 1974a).

Queste sono state realizzate mediante triangolazione a partire da punti di controllo a terra (*cairn*) costruiti con piramidi di pietre che in buona parte sono presenti ancora oggi. Ognuna di queste piramidi è stata costruita in modo da essere visibile da almeno altri due *cairn*, posizionate solitamente alla sommità di un pendio, in prossimità dei bordi dei *canyons* e alta generalmente poco meno di 1 m.

Molti di questi *cairn* sono stati mappati con il GPS nelle spedizioni del 2006, del 2008 (Currie, 2016) e in maniera sistematica durante l'ultima spedizione del 2016 da cui è nato questo lavoro.



Fig.4 – A sinistra: R. Gradzinski mentre costruisce uno dei *cairn* utilizzati per la triangolazione, probabilmente nel 1968 (Currie, 2016). A destra: Uno dei *Cairns* mappati con il GPS e verniciato in blu per essere facilmente individuato sulle immagini del rilevamento aereo (2016).

Nei lavori precedenti erano state distinte tre aree di circa 1 km²: Nemegt, Altan Uul IV e Tsagaan Khushuu in cui venivano correlate le quote con un clinometro misurando la pendenza di una visuale. Con questa metodologia gli autori avevano ricostruito la giacitura del *pediment* e degli strati attraverso il metodo di Nevin (1949, p.30) con cui avevano calcolato uno strike di $105^{\circ}\pm 5^{\circ}$ e un dip di $1^{\circ}43'$; con questo gradiente di inclinazione quindi il dislivello sulla medesima superficie di strato risulta essere di 30 ± 2 m per 1 km in direzione S-SO, (Gradzinski, 1970).

La quota sul livello del mare usata da Gradzinsky era stata determinata attraverso l'utilizzo di mappe fotogrammetriche con un'accuratezza di qualche metro.

Tra le mappe pubblicate in seguito alle campagne organizzate dalle *Polish-Mongolian Paleontological Expeditions*, alcune accompagnate da dati geologici altre con l'unico scopo di individuare località fossilifere, sono presentate in questa tesi quelle che forniscono l'inquadramento delle località Khulsan e Nemegt.

La località Khulsan è rappresentata in un unico foglio (Gradzinski & Jerzykiewicz, 1972); la mappa della località Nemegt è suddivisa in 3 fogli: Central (Gradzinski, 1968), Northern e Southern, (Gradzinski & Jerzykiewicz, 1972).

Sono presenti inoltre fogli generali che inquadrano entrambe le località, (Gradzinski & Jerzykiewicz, 1974a) in cui sono presenti anche dati geologici speditivi.

In questo lavoro vengono mostrate anche le mappe di altre due località: Altan Uul III e Tsagaan Khushuu (Gradzinski et al., 1969).

Tutte le mappe presentate di seguito sono a bassa risoluzione e sono presenti pochissimi punti quotati, per cui non si riesce ad individuare correttamente la morfologia o un gradiente altimetrico, sono presenti solamente i pattern idrografici ed i *canyons* principali, questo perché queste mappe servivano solo come indicazioni rispetto ai siti fossiliferi più significativi.

Il sistema di coordinate utilizzato in questo lavoro è UTM WGS 84 fuso 47 N.

3.1 Cartografia generale

Gradzinski e Jerzikiewicz nel 1974 propongono una mappa che comprende la località Khulsan ad Ovest e la località Nemegt ad Est.

I dati presentati in questa mappa sono dati generici che mostrano i *sayr* principali (*Northern sayr*, *Western sayr*, *Central sayr*, *Goat sayr*, *Eastern sayr*, *Broad sayr* e *Main sayr*) le scarpate maggiori, la posizione dei campi e pochissimi punti quotati che non permettono quindi di individuare la morfologia in maniera dettagliata.

Questa mappa è stata creata per il lavoro "Sedimentation of the Barun Goyot Formation" per cui viene rappresentato solo il limite superiore della formazione Baruungoyot, mentre la formazione Nemegt non viene presa in considerazione.

I dati presentati mostrano come la formazione Baruungoyot affiori in un'area di circa 100 km². Questa comprende la parte Est della località Nemegt e la regione di Khulsan. Secondo gli autori, lo spessore della Baruungoyot è di circa 100 m (Gradzinski and Jerzikiewicz, 1974a), di cui una parte superiore spessa circa 20 m che affiora nella zona Ovest dell'area: *Eastern sayr*, *Red Walls*, *Red Monadnocks*, *Southern Monadnocks*. La parte inferiore affiora a Khulsan e nei *Southern Monadnocks*, (Gradzinski and Jerzikiewicz, 1974a).

Nello stesso anno, gli autori hanno presentato la stessa mappa con l'aggiunta dei dati relativi alla direzione di immersione delle unità presenti (*rose diagram*).

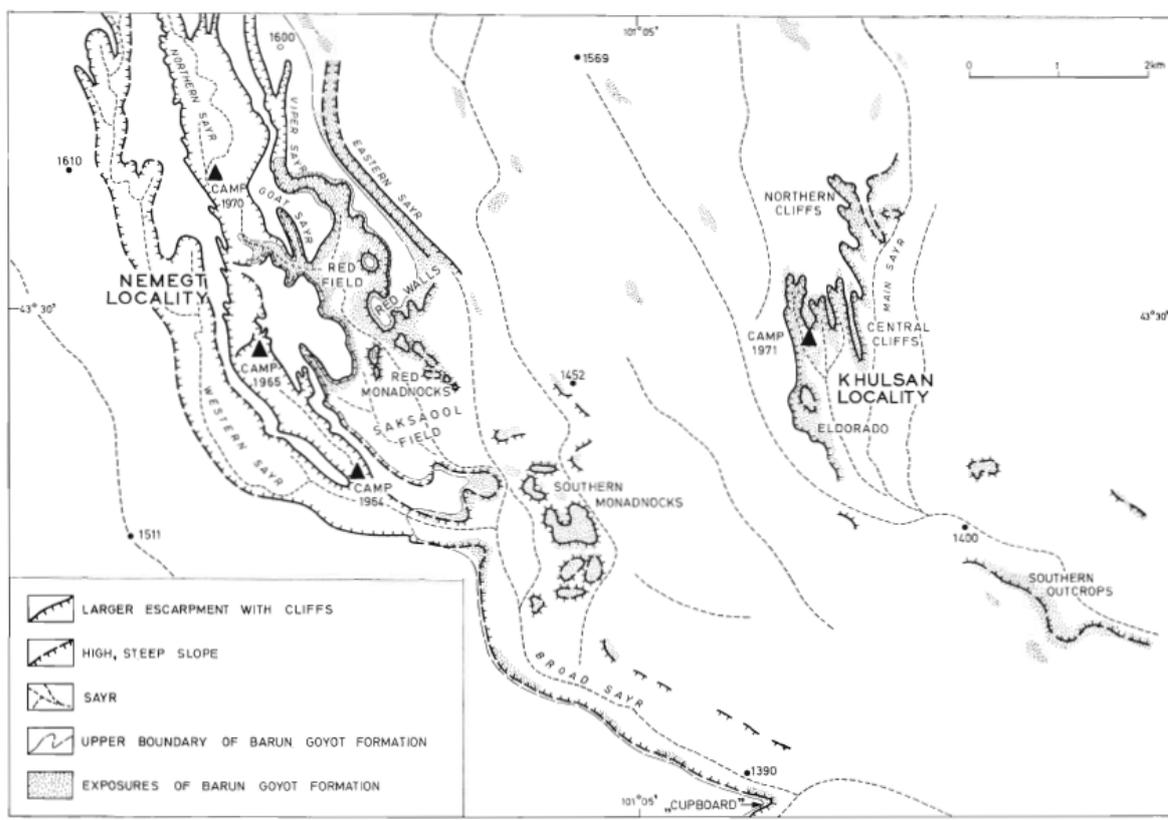


Fig. 5 - Mappa geologica relativa alla Formazione Baruungoyot (= Lower Nemegt) esposta nelle località Nemegt e Khulsan (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1974a).

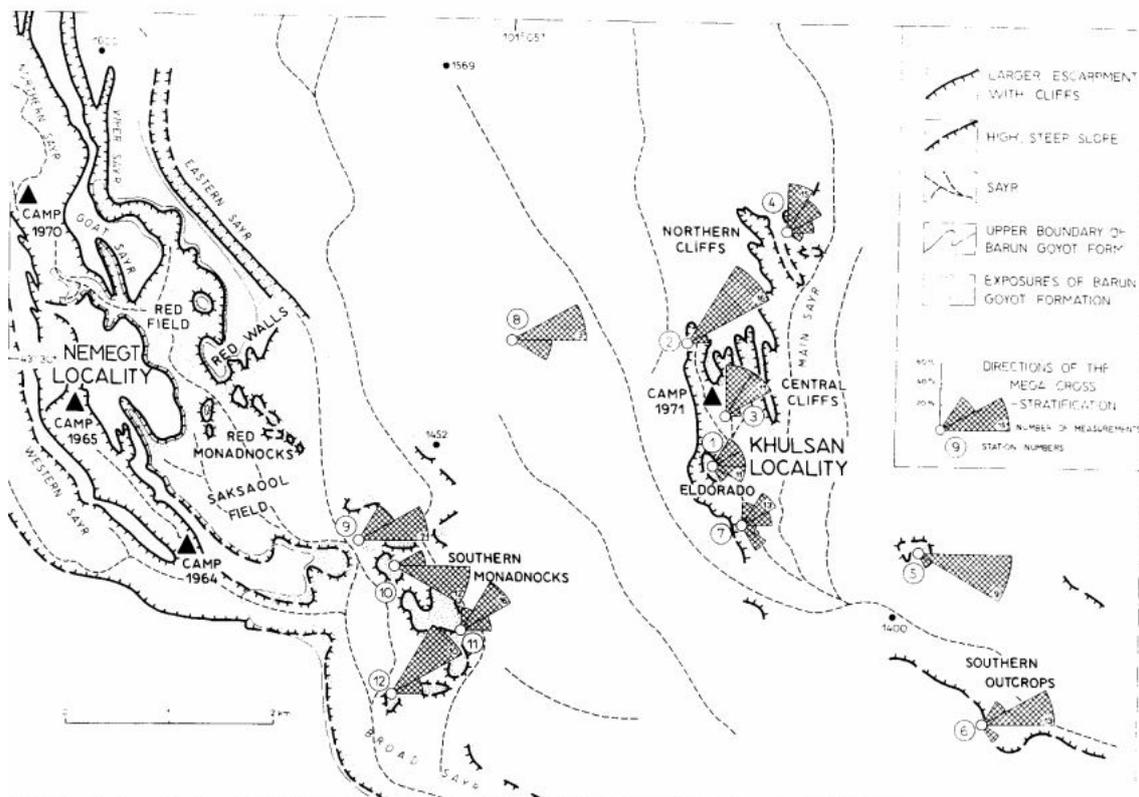


Fig. 6 – Mappa geologica della Formazione Baruungoyot e diagramma della direzione di immersione delle unità presenti (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1974b).

3.2 Khulsan

Nel 1972 Gradzinski e Jerzykiewicz avevano formalmente suddiviso la zona del Nemegt nelle due località discusse in questa tesi: Khulsan e Nemegt.

La località Khulsan è stata definita come località tipo per la formazione Baruungoyot (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1974a, b).

La maggior parte delle porzioni affioranti si trova in un'area con coordinate 101°07'-101°09' longitudine E e 43°28'-43°30' latitudine N.

L'altitudine è compresa tra 1400-1450 m sul livello del mare (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1972).

Il *main sayr* visibile nella mappa ha un andamento circa N-S fino ad un punto nella zona meridionale in cui devia verso E-SE. La valle è asimmetrica, ad E le pareti sono poco pendenti e coperte da sedimenti recenti, infatti affioramenti del Cretaceo sono rari in quest'area. La porzione Ovest della valle di Khulsan è morfologicamente diversa, il vecchio *pediment* è tagliato da numerosi piccoli *sayr*. In questa zona è presente una scarpata continua alta più di 25 m in cui l'erosione ha esposto i sedimenti del Cretaceo.

La località di Khulsan comprende tre aree caratterizzate da *sayr* con andamento NO-SE, particolarmente ricche in resti fossili a cui sono stati dati i seguenti nomi: *Northern Cliffs*, *Central Cliffs* e *Eldorado*, (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1972).

In questa mappa si possono vedere i *sayr* principali, l'ubicazione delle sezioni A e B e del campo del 1971, i numeri riferiti ai principali ritrovamenti fossili e i punti corrispondenti ai diversi *cairn* (Tab. 2).

Nella zona dei *Central Cliffs* sono concentrati la maggior parte degli scavi documentati.

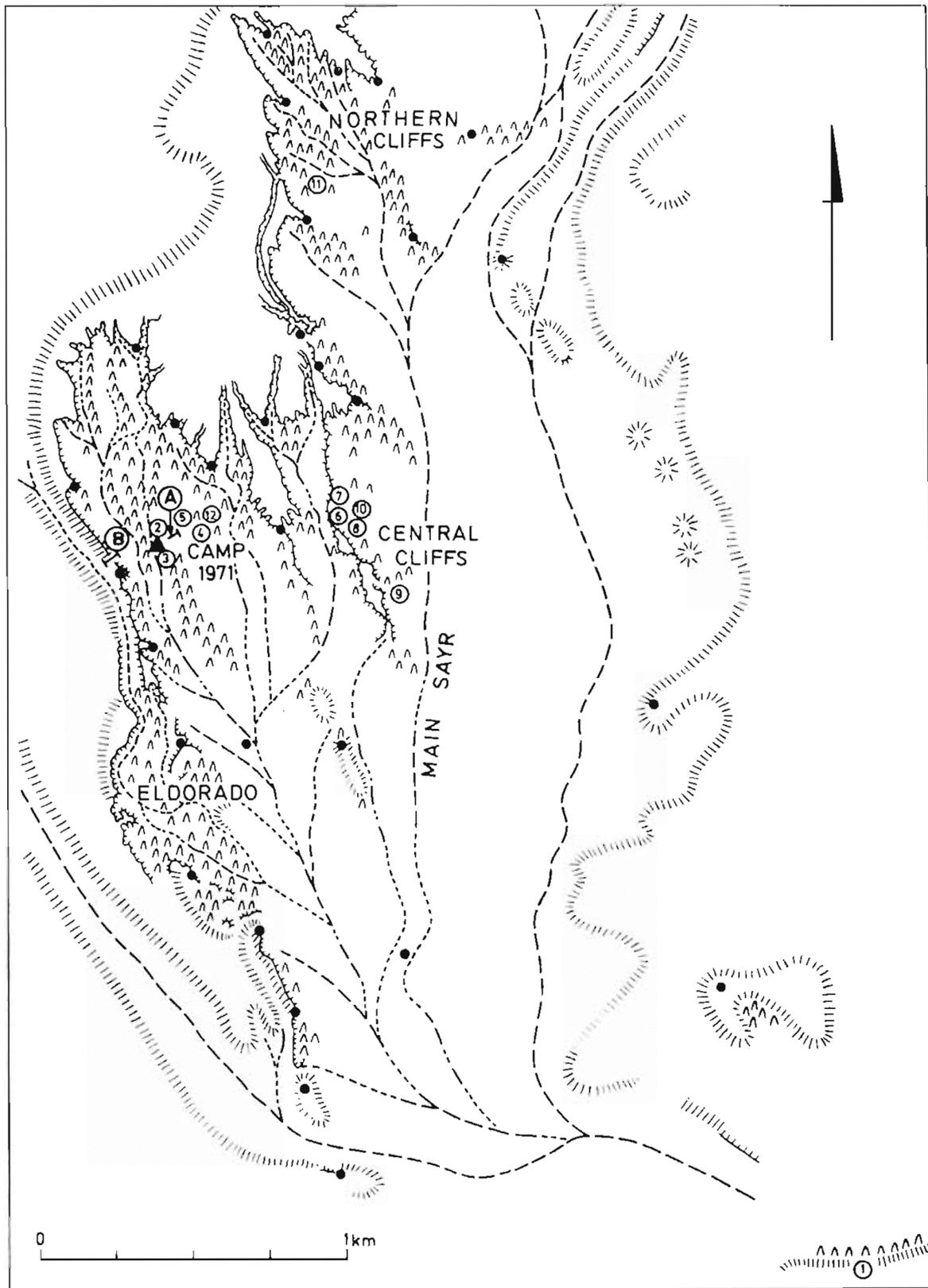


Fig. 7 – Rappresentazione cartografica della località Khulsan. I numeri si riferiscono alle faune fossili presenti (Fig.15), (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1972).

3.3 Nemegt

La prima spedizione riguardante la località Nemegt risale al 1946 da parte dell'*USSR Academy of Sciences*, la quale produsse risultati significativi che incentivarono l'organizzazione di nuove spedizioni nel 1948-1949.

La località Nemegt si estende tra 12-18 km a Sud del massiccio del Nemegt ed è attraversata da diversi *sayr*: *Northern*, *Central*, *Western* e *Eastern*. Questi confluiscono in un unico *Broad sayr*, tributario del *main sayr* del bacino del Nemegt.

Anche nei 3 fogli del Nemegt, i dati morfologici sono poco dettagliati in quanto sono visibili le scarpate e i *sayr* principali con alcune quote di riferimento e come per Khulsan sono presenti i punti relativi ai *cairn*, ai campi e ai principali siti di scavo.

3.3.1 Northern Nemegt

Area compresa tra 101°02'-101°31'longitudine E e 43°30'30"-43°32'30" latitudine N.

L'altitudine stimata dagli autori in questa zona è compresa tra 1550 e 1600 m, (Gradzinski and Jerzikiewicz, 1972).

In quest'area il *pediment* più antico è tagliato da due larghi *sayr*: *Western* e *Northern*, immediatamente ad Est è presente il *Viper sayr*.

Il limite meridionale della mappa è rappresentato dall'area adiacente ad un punto geomorfologico di riferimenti chiamato "*Great Pyramid*".

Il sistema di drenaggio del *Western sayr* nasce a sud dell' "*Isolated Hill*" e si estende per alcuni chilometri prima di confluire nel *Northern sayr*.

Il *Northern sayr* è complessivamente più ampio e caratterizzato da pendenze maggiori rispetto al *Western sayr*; la parte più bassa della valle è invece relativamente stretta e delimitata generalmente da alti muri verticali di roccia (Gradzinski & Jerzykiewicz, 1971).

3.3.2 Central Nemegt

In questa mappa sono rappresentate le porzioni meridionali del *Western* e *Northern sayr*, il *Central sayr* e due vaste aree pianeggianti: *Red Field* e *Saksaool Field*.

In questa zona con andamento NO-SE sono concentrati la maggior parte dei *canyons*. Questa occupa un'area di circa 3 x 5 km. Ad Ovest l'area è delimitata dal *Western sayr*, spostandosi verso Est si trovano il *Central sayr*, *Great Pyramid* e *Reconnaissance Hill*. Il *Northern sayr* si estende al *Saksaool Field* delimitato a Nord dal *Red Walls*. Nella scarpata Est l'ampio *Eastern sayr* arriva fino al *Saksaool Field*.

Lungo la scarpata del *Red Walls* sono esposti i letti della *Baruungoyot* e l'*interfingering*; nella porzione Nord tre *sayrs* minori che confluiscono nel *Viper sayr* delineano una morfologia che espone la Formazione *Baruungoyot*. Spostandosi da N-E a S-O nel *Central sayr* si trova di nuovo una sezione geologica completa rappresentata da *Baruungoyot*, *interfingering* e la parte inferiore delle Formazione *Nemegt*. In particolare, l'intervallo stratigrafico documentato in questa zona come *interfingering* è il più ricco di vertebrati fossili, i quali rappresentano la prima evidenza che i vertebrati della Formazione *Baruungoyot* e della Formazione *Nemegt* coesistevano (Eberth et al., 2009; Fanti et al., 2012).

Le porzioni esposte in quest'area sono risultate significative per la comprensione dei rapporti stratigrafici tra le due formazioni e per la correlazione con la località Khulsan.

3.3.3 Southern Nemegt

In questa mappa è rappresentata la fascia meridionale del *Red Walls* e alcune collinette isolate chiamate *Red Monadnocks* che si estendono verso S-E per circa 1 km e arrivano ad una quota di massimo 25 m rispetto al piano attuale. Qui l'unica formazione esposta è la Baruungoyot, ad eccezione di una cima isolata in cui sono esposti i letti della Nemegt.

In quest'area non ci sono scavi documentati.

Nella porzione sud della mappa, ad est del *Broad Sayr* si trovano i *Southern Monadnocks* i quali coprono in maniera discontinua un'area di 1.5 km². Nella porzione centrale della mappa si estende un'area chiamata Saksaoöl Field (Saksaoöl = saxaul, *Haloxylon ammodendron*, arbusto tipico dell'Asia Centrale), attraversata dal *Northern sayr*.

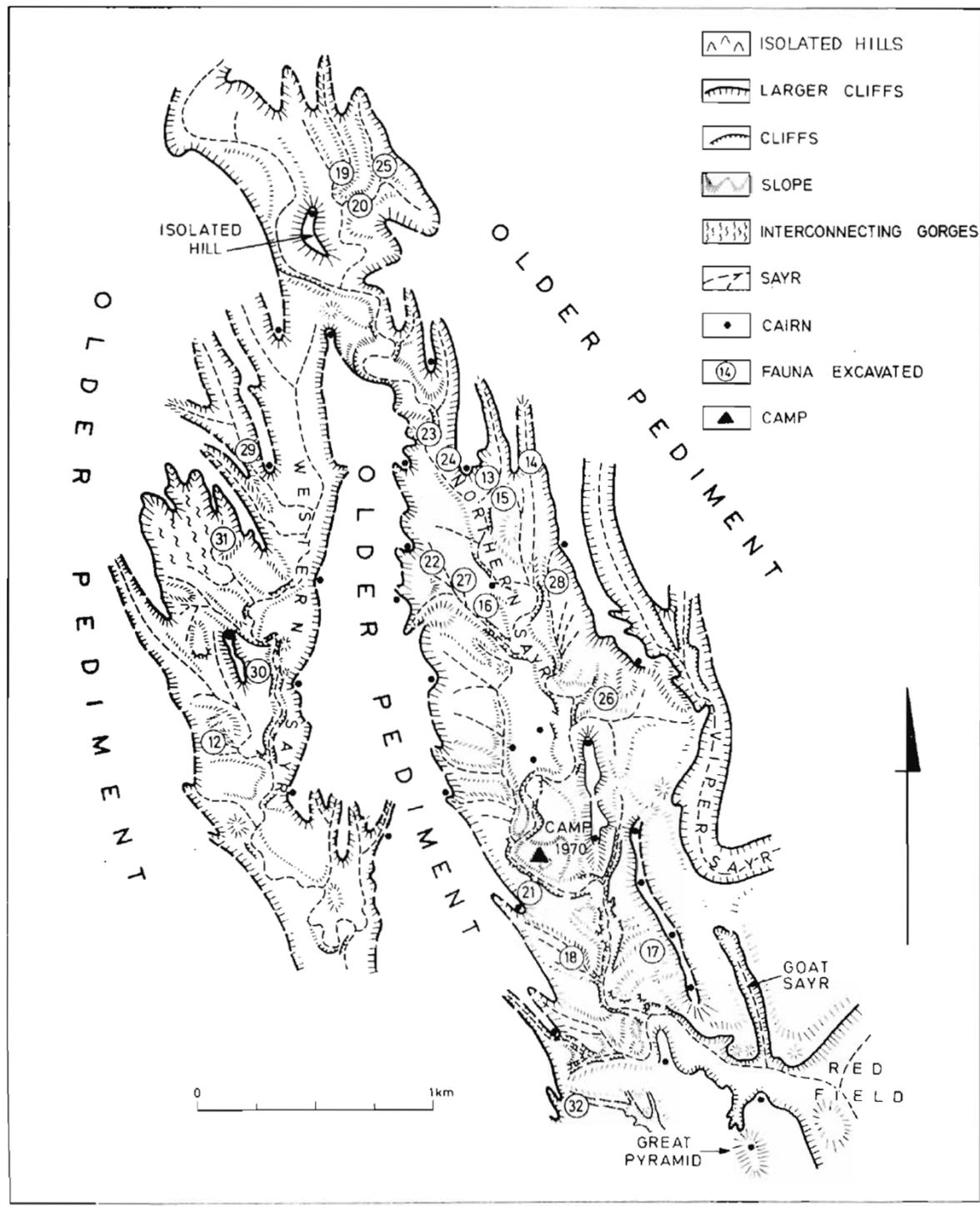


Fig. 8 – Rappresentazione cartografica del Northern Nemegt costruita con il metodo della triangolazione. I numeri si riferiscono alle faune fossili presenti (Fig.16), (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1972).

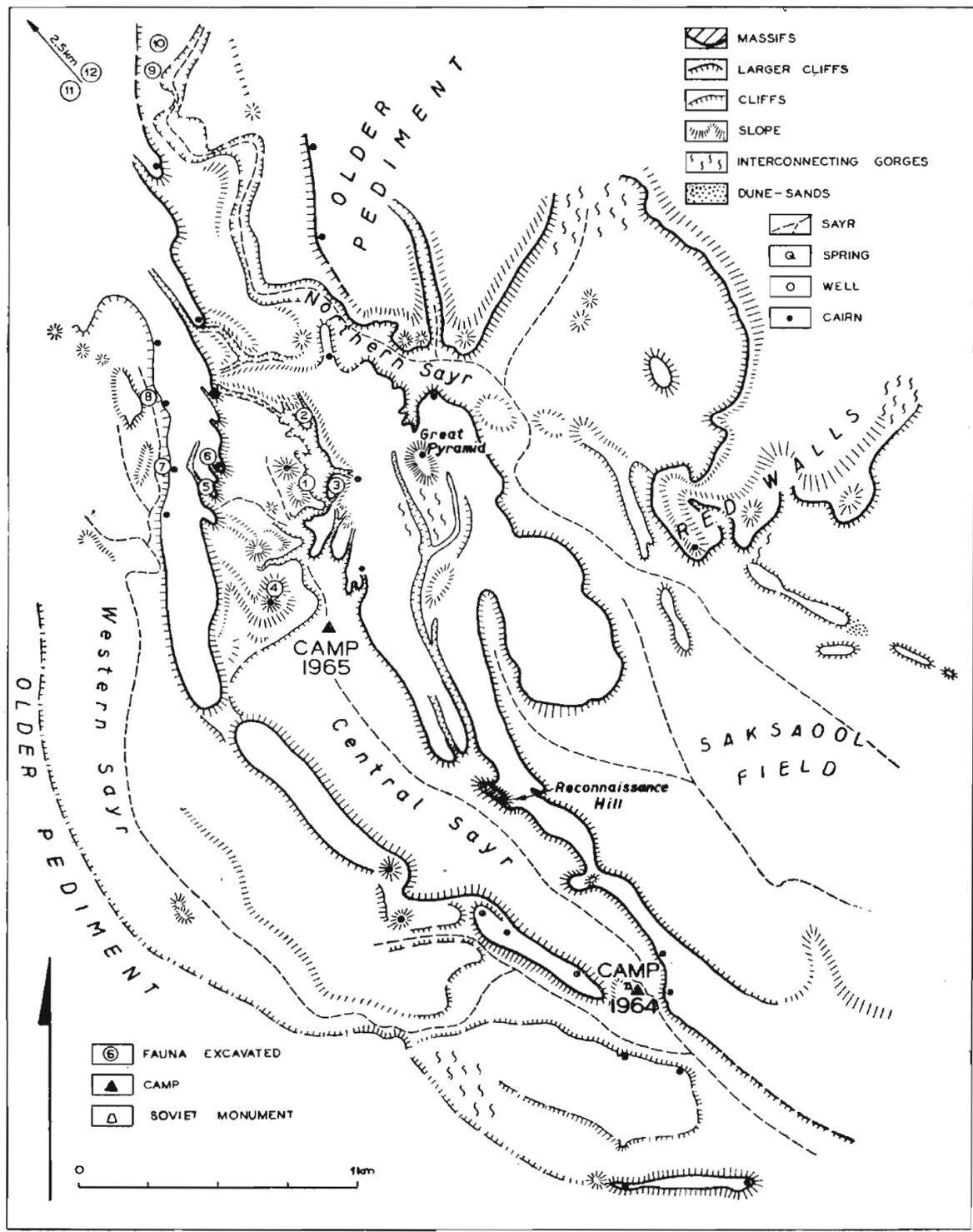


Fig. 9 - Rappresentazione cartografica del Central Nemegt costruita con il metodo della triangolazione. I numeri si riferiscono alle faune fossili presenti, (Fig.16a), (Gradzinski et al, 1968).

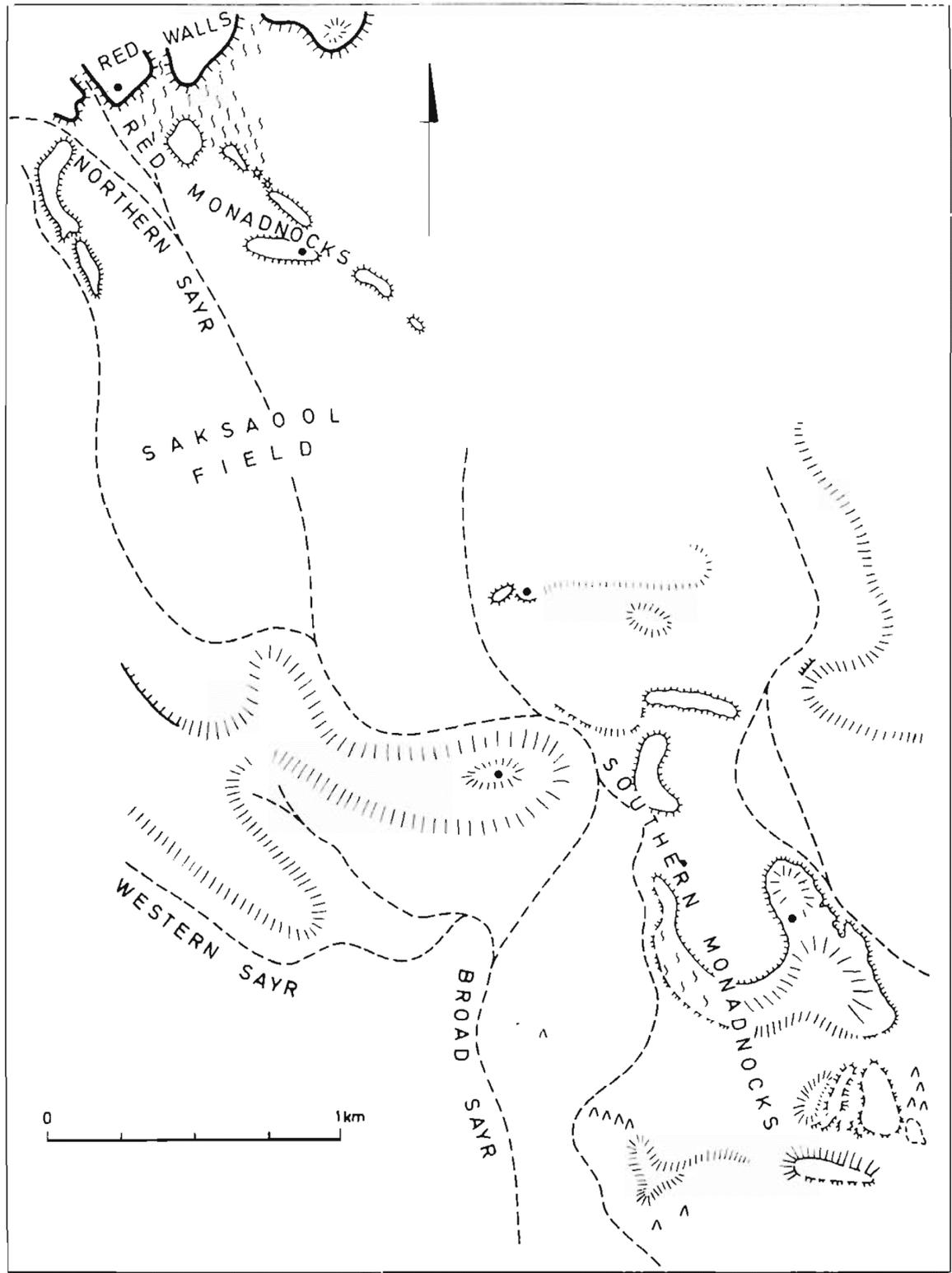


Fig.10 - Rappresentazione cartografica dell'area del Southern Nemegt costruita con il metodo della triangolazione, (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1972).

3.3.4 Altan Uul III

La mappa di Altan Ula III risulta più approssimata rispetto alle carte presentate precedentemente, infatti non sono rappresentati *cairn* o altri tipi di punti di riferimento. Gli unici punti rappresentati sono relativi a 3 siti di scavo.

Non ci sono molti dati in letteratura riguardo la località di Altan Uul III. I taxa documentati includono *Tarbosaurus* e *Deinocheirus mirificus* (Kielan-Jaworowska, 1965; Lee et al., 2014; Currie, 2016).

Nuovi ritrovamenti all'interno dei depositi fluviali sono caratterizzati da resti di *Deinocheirus* vertebre dorsali e caudali di oviraptorosauri, resti di hadrosauro, uno scheletro parziale probabilmente di sauropode e legno fossile.

L'altitudine in questa zona è compresa tra 1550 e 1750 m.

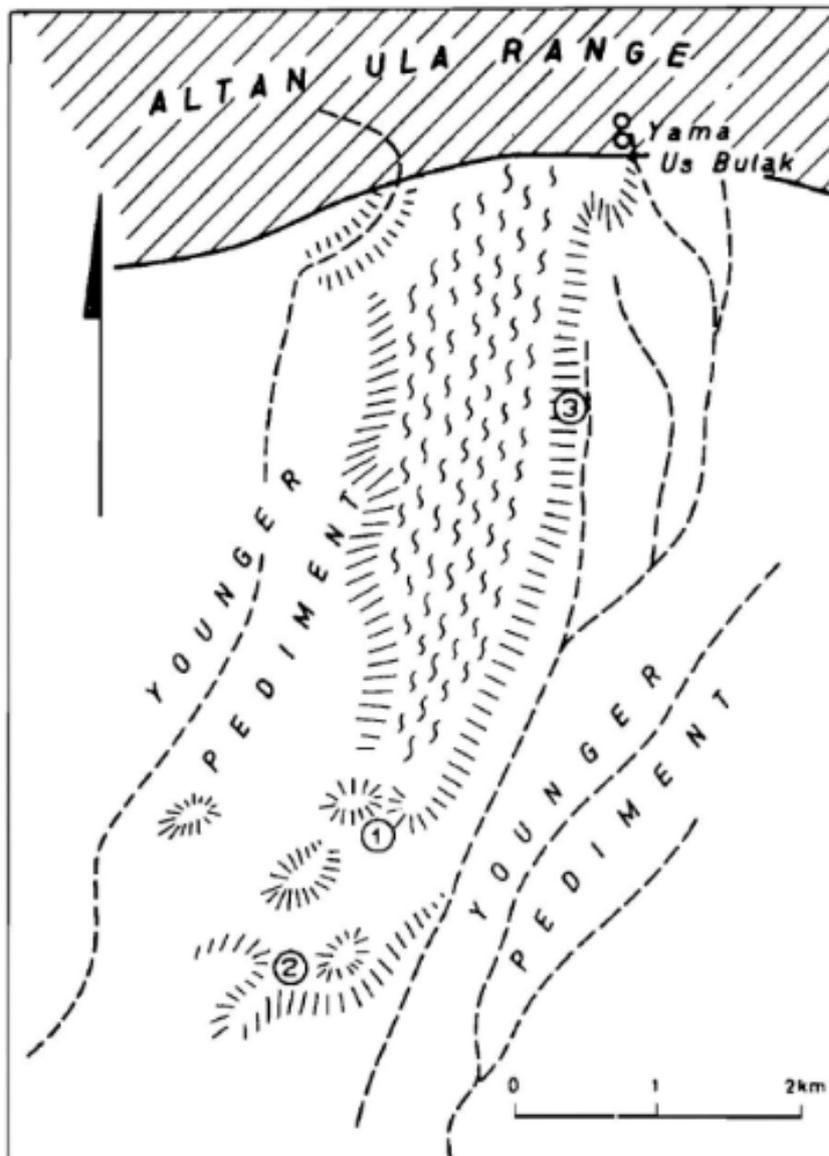


Fig.11 – Mappa di Altan Ula III (Gradzinski et al., 1968).

3.3.5 Tsagaan Khushuu

La località Tsagaan Khushuu fu scoperta nel 1948 dalle *Mongolian Paleontological Expedition of the USSR Academy of Sciences* in seguito fu esplorata nel 1948-49 (Efremov, 1954; Rozhdestvensky, 1953) e nel 1964-65.

L'altitudine è compresa tra 1380 e 1450 m.

In quest'area sono esposti i sedimenti della Formazione Nemegt in cui sono presenti numerosi siti di scavo grazie ai quali sono stati documentati numerosi resti fossili: *Tarbosaurus*, *Saurolophus*, oviraptorosauri, sauropodi, tartarughe e mammiferi.

Inoltre, nella zona sud-est di questa località è esposta la transizione Cretaceo-Paleogene e sono stati scoperti importanti siti a mammiferi.

L'immagine a sinistra rappresenta una mappa generica della porzione N-O di Tsagaan Khushuu in cui sono mostrate le zone in cui sono esposti sedimenti del Cretaceo. La lettera "M" indica una lente con numerosi frammenti di ossa di piccoli mammiferi.

L'immagine a destra mostra sempre la porzione N-O della località di Tsagaan Khushuu mentre i numeri e la lettera "T" sono riferiti ad una serie di siti di scavo.

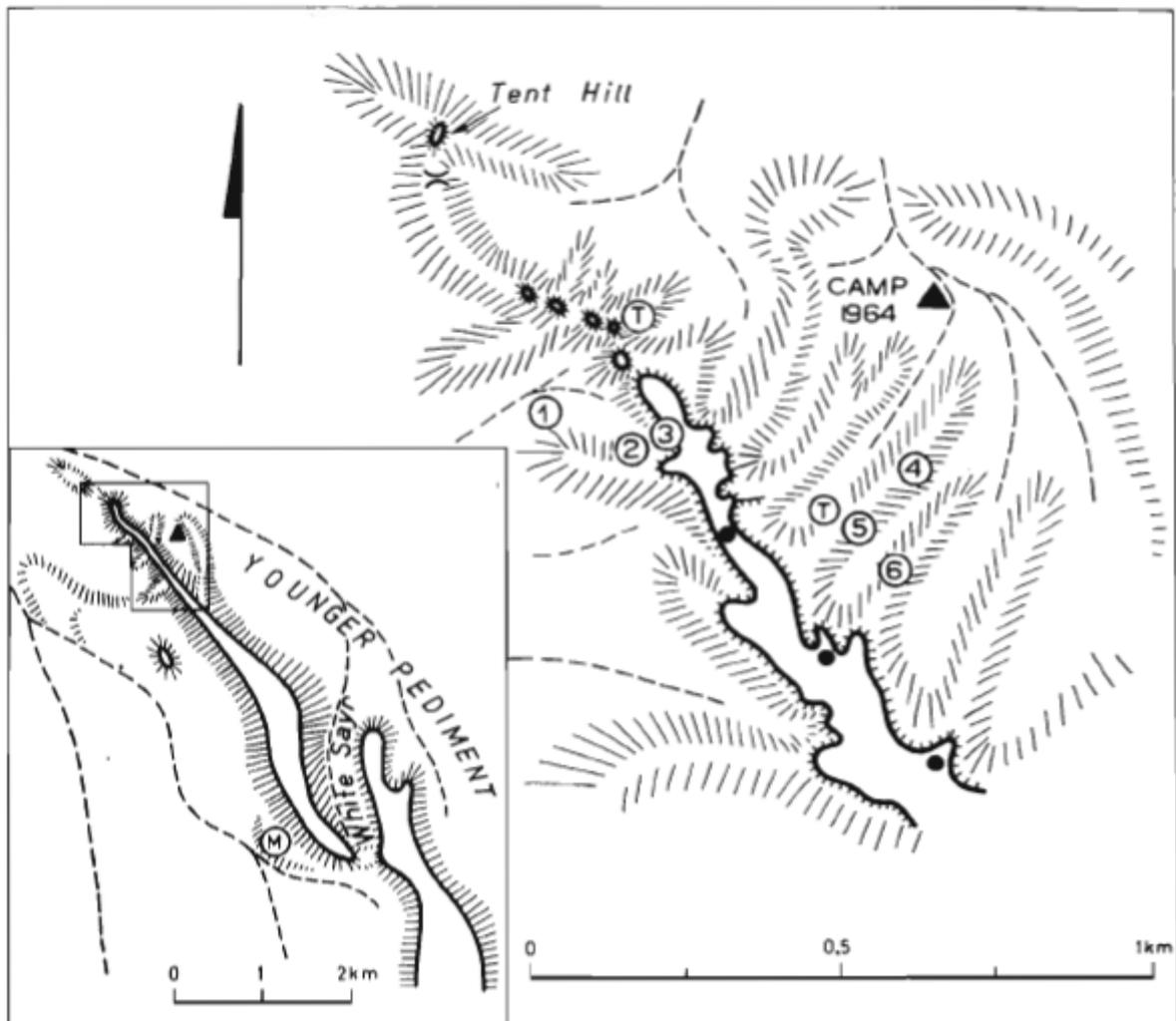


Fig. 12 – Mappa di Tsagaan Khushuu (Gradzinski et al., 1968).

4 Correlazioni stratigrafiche

Dal punto di vista della correlazione laterale risulta difficile correlare le varie sezioni, questo a causa della posizione degli affioramenti disseminati in una vasta area, della variabilità litologica sia verticale che orizzontale e della mancanza di orizzonti guida. L'unico metodo su cui è stata basata una relazione tra le sequenze esposte nei vari affioramenti è la correlazione spaziale, assumendo direzione e immersione costanti in tutta l'area e l'assenza di importanti faglie all'interno dell'intero bacino.

Gradzinski e Jerzikiewicz nel 1974 hanno fornito un primo tentativo di relazionare affioramenti isolati utilizzando il metodo dell'estrapolazione spaziale descritta da Gradzinski (1968). Inizialmente gli autori hanno selezionato tre profili a Khulsan: *Northern Cliffs*, *Camp 1971* e *Eldorado*, e tre a Nemezt: uno nei *Southern Monadnocks* e due nel *Red Walls* (*Red Monadnocks* e *Red Walls*). Il tetto della Baruungoyot affiorante nella porzione S-O del *Red Walls*, è stato utilizzato da Gradzinski come riferimento per correlare diversi profili stratigrafici, (Fig. 13, 14); la base non è stata invece individuata nella località Nemezt.

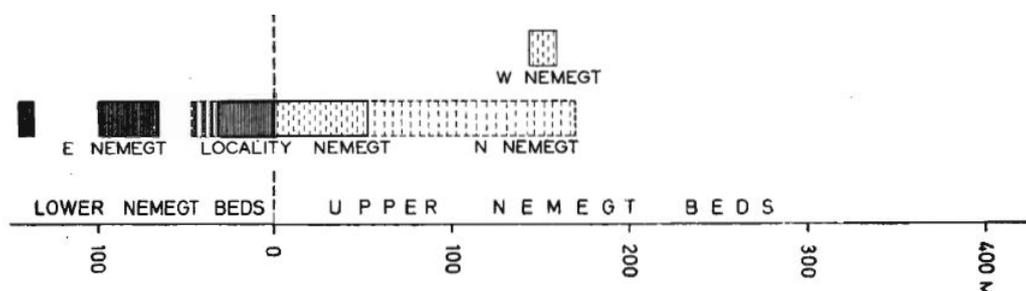


Fig. 13 – Posizione delle porzioni esposte basata sull'estrapolazione spaziale rispetto al contatto tra Lower Nemezt e Upper Nemezt nella località Nemezt, (modificata da: Gradzinski, 1970).

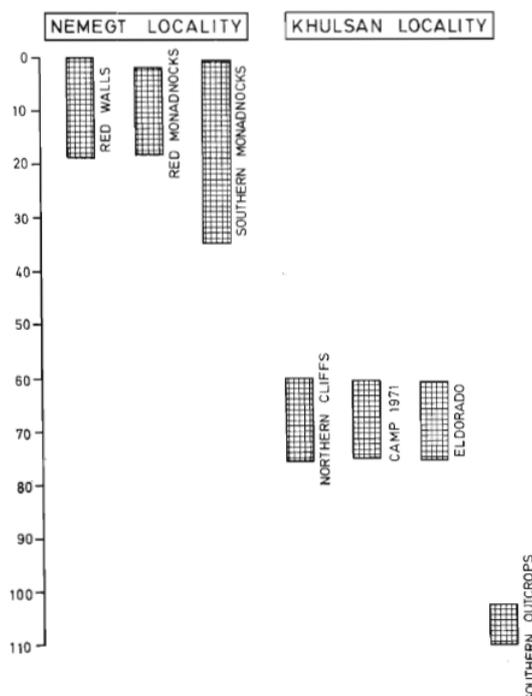


Fig.14 – Rappresentazione dei profili della Formazione Baruungoyot determinati con l'estrapolazione spaziale, (Gradzinski & Jerzykiewicz, 1974).

Nella località Nemegt la parte superiore della Fm. Baruungoyot è esposta nei *Red Walls*, nei *Red Monadnocks* e insieme agli strati sottostanti anche nei *Southern Monadnocks*. Nella località Khulsan i profili hanno una posizione di circa 20 m più bassa, (Gradzinski et al., 1974). Questo ha portato ad una stima dello spessore di circa 110 m per la Fm. Baruungoyot, di 420 m per la “Lower Nemegt” e di circa 150 m per l’“Upper Nemegt”, (Gradzinski, 1970).

4.1 Località Khulsan

Nella località Khulsan le uniche sezioni pubblicate sono le due riportate sotto:

Sezione A: 101° 7' 29,228" E - 43° 29' 56,305" N

Sezione B: 101° 7' 23,634" E - 43° 29' 52,647" N

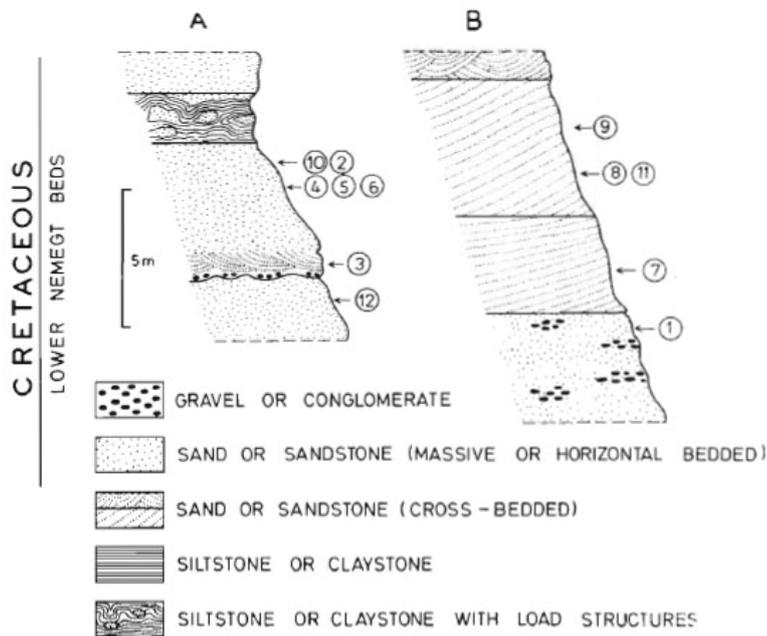


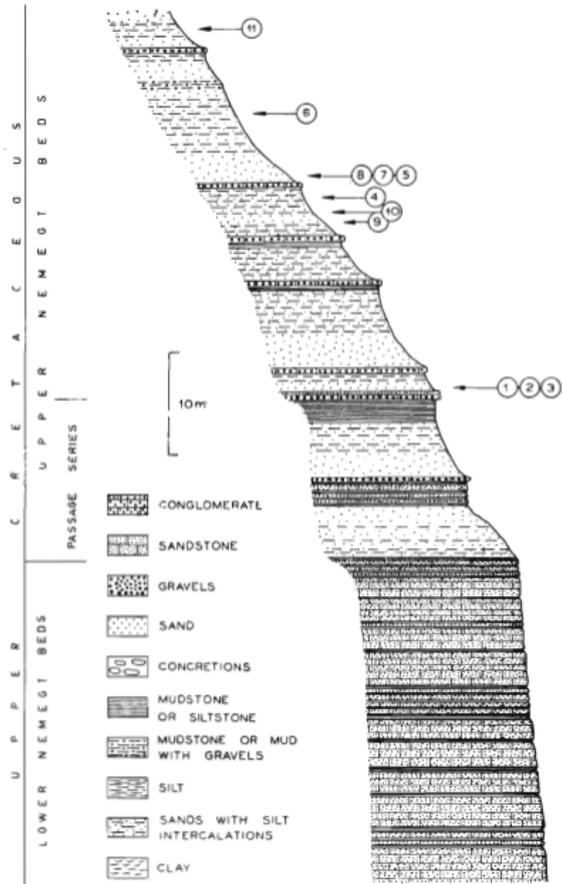
Fig. 15 – Profili geologici dei sedimenti del Cretaceo Superiore in località Khulsan. I numeri si riferiscono alle faune fossili presenti i cui nomi sono riportati nella tabella sottostante (Gradzinski & Jerzykiewicz, 1974).

| Numero | Specie |
|--------|--|
| 1 | lower jaw of <i>Protoceratops</i> |
| 2 | fragmentary skeleton of a small theropod dinosaur |
| 3 | skeleton of a lizard |
| 4 | two skulls of small individuals of <i>Protoceratops sp.</i> |
| 5 | two skulls of small individuals of <i>Protoceratops sp.</i> |
| 6 | partial skull of an ankylosaurid dinosaur |
| 7 | tortoise |
| 8 | partial skeleton of a small theropod dinosaur |
| 9 | several skulls and partial postcranial skeletons of amphislaenid lizards |
| 10 | skull of a pachycephalosaurid dinosaur |
| 11 | skeleton with skull of an ankylosaurid dinosaur |
| 12 | skeleton of a lizard |

Tab.2

4.2 Località Nemegt

Storicamente non esiste una sezione stratigrafica completa che attraversa la località Nemegt; gli autori (Gradzinsky et al., 1968) da un punto di vista stratigrafico e biostratigrafico propongono dei profili ideali attraverso le varie località (40 km²) in cui collocano secondo un ordine stratigrafico i principali fossili trovati durante le spedizioni.



| Numero | Specie |
|--------|----------------------------|
| 1 | Tarbosaurus |
| 2 | Tarbosaurus |
| 3 | Tarbosaurus |
| 4 | Ornithomimid |
| 5 | Ornithomimid |
| 6 | Sauropod skull |
| 7 | Ornithomimid |
| 8 | New ornithischian dinosaur |
| 9 | Ornithomimid |
| 10 | Tarbosaurus |
| 11 | Ornithomimid |
| 12 | Tarbosaurus |

Tab.3

Fig. 16 - Profilo geologico relativo ai sedimenti del Cretaceo Superiore nella località Nemegt (Central). I numeri sono riferiti ai resti fossili i cui nomi sono riportati nella tabella sulla destra (Gradzinsky et al, 1968).

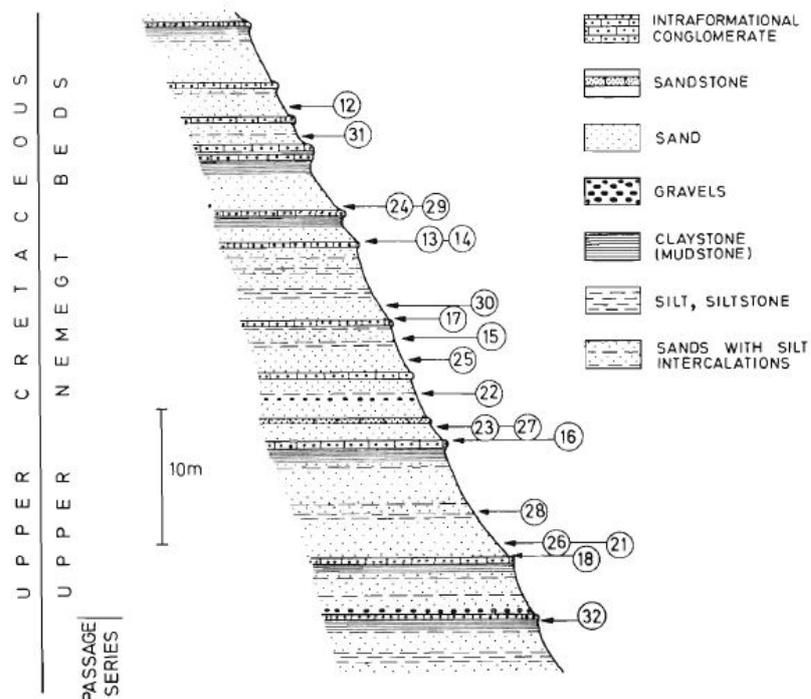


Fig. 16a – Profilo geologico della località Nemegt (Northern). I numeri si riferiscono alle faune fossili presenti i cui nomi sono riportati nella tabella sottostante (Gradzinski & Jerzykiewicz, 1971).

| Numero | Specie |
|--------|--|
| 12 | incomplete skeleton with part of <i>Tarbosaurus bataar</i> |
| 13 | fragment of the postcranial skeleton of the coeluroid dinosaur |
| 14 | complete postcranial skeleton of ornithomimid dinosaur |
| 15 | tortoise |
| 16 | tortoise |
| 17 | skull of a tortoise |
| 18 | fish remains |
| 19 | skull and fragments of the postcranial skeleton of pachycephalosaurid dinosaur |
| 20 | pelvis of ornithomimid dinosaur |
| 21 | fragments of the limbs of ornithomimid dinosaur |
| 22 | tortoise |
| 23 | incomplete backbone, fragments of the pelvis and tarsus of <i>Sauroplopus angustirostris</i> |
| 24 | incomplete skeleton with the fragmentary skull of <i>Tarbosaurus bataar</i> |
| 25 | pelvis of ornithomimid dinosaur |
| 26 | fragments of the postcranial skeleton of coeluroid dinosaur |
| 27 | fragments of the tail and hind limbs of <i>Sauroplopus angustirostris</i> |
| 28 | fragmentary skull and postcranial skeleton of <i>Sauroplopus angustirostris</i> |
| 29 | incomplete skull and fragments of the backbone of <i>Tarbosaurus bataar</i> |
| 30 | seven vertebrae and fragments of the metatarsus of <i>Tarbosaurus bataar</i> |
| 31 | fragmentary tail, pelvis and hind limb of <i>Tarbosaurus bataar</i> |
| 32 | mudstone with ostracods, characeans and pelecypods |

Tab. 4

I profili geologici riportati sopra rappresentano profili stratigrafici sintetici e i fossili inseriti nei diversi livelli non presentano riferimenti ad un preciso *datum* stratigrafico.

5 Materiali e metodi

Per la mappatura delle aree studiate in questo lavoro è stato necessario partire dalla ricostruzione della morfologia realizzata mediante interpretazione aerofotogrammetrica di immagini delle aree di interesse con una copertura continua. Questo è stato possibile grazie al rilievo realizzato mediante UAV (Unmanned aerial vehicle).

Sono stati condotti diversi rilievi nelle varie località di minore entità areale come Altan Uul II-III, Tsagaan Khushuu e Ulaan Khushuu fino ad arrivare a rilevare interamente le località trattate in maniera approfondita in questo lavoro: Khulsan e Nemegt.

5.1 Fotogrammetria e processing dati

Per l'acquisizione delle immagini ad alta risoluzione è stato utilizzato il velivolo DJI Phantom 3 Professional.

Le singole foto sono state acquisite in funzione della copertura a terra con sovrapposizione fra fotogrammi adiacenti dell'ottanta per cento minimo; il riferimento geografico del punto di ripresa è stato definito con la strumentazione di bordo (sistema GPS/Glonass, bussola ed accelerometri) con una precisione verticale di volo di ± 10 cm e orizzontale di ± 1 m. La stabilizzazione del sensore Sony EXMOR 1/2.3" da 12.4 Mpixels effettivi della fotocamera viene controllata da un *gimbal* attivo.

Il numero dei fotogrammi utilizzato varia in funzione dell'area rilevata, si va da numeri mediamente 'piccoli', in particolare per Altan Uul III e Tsagaan Kushuu sono state scattate 827 foto nel primo caso e 2253 foto nel secondo caso; si arriva alle 3283 foto per la copertura della località Khulsan fino alle 25789 foto per la copertura della località Nemegt.

I dati acquisiti sono stati poi processati utilizzando *Pix 4D Desktop* in modo da ottenere un modello digitale del terreno, le isoipse con equidistanza a scelta e un'ortofoto dell'intera area.

Le immagini scattate in volo vengono convertite in nuvole di punti, modelli 3D ed infine in ortomosaici georeferenziati.

La nuvola di punti viene convertita in una superficie partendo da un insieme di vertici in uno spazio tridimensionale (*mesh*). La superficie così ottenuta può essere rappresentata in diversi modi:

- Morfologia a sfumo: la morfologia del terreno viene rappresentata attraverso ombreggiature.
- Tinte ipsometriche: colori differenti a seconda della quota.
- Isoipse: curve che uniscono i punti con uguale quota, in questo caso vengono rappresentati anche i dati numerici.

Per ottenere l'ortofoto il software combina tutte le immagini che vengono poi ortorettificate. L'ortorettifica è la trasformazione necessaria per correggere un'immagine fotografica dalle deformazioni dovute alla diversa distanza del suolo dal punto di ripresa.

Un'immagine ortorettificata restituisce quindi il materiale fotografico eliminando le deformazioni indotte dalle diverse scale presenti in funzione della distanza tra macchina

da presa ed il terreno, ottenendo così una scala costante su tutta l'immagine ed una georeferenziazione più corretta.

Per eseguire l'ortorettifica è necessario quindi partire dal modello digitale del terreno per far sì che un'elaborazione software corregga le variazioni della quota z, in funzione delle coordinate planimetriche x,y.

Pix4D si basa sulla triangolazione automatica avanzata che permette di ottenere risultati con una precisione decimetrica sugli assi x, y e z, grazie anche ad una funzione che permette di unire la nuvola di punti 3D con le immagini di *input* originali.

Per rendere il *processing* dei dati ancora più preciso, sono stati utilizzati i punti di controllo a terra individuati durante la spedizione del 2016 e registrati come punti GPS rilevati sugli stessi *cairn* utilizzati anche dagli autori precedenti. Questi poi, sono stati riconosciuti nelle singole immagini ed identificati all'interno del software.

Questo processo permette di migliorare la scalatura e la georeferenziazione della nuvola di punti ottenuta dalla ricostruzione fotogrammetrica, oltre a permetterci una più facile correlazione con le carte degli autori precedenti che utilizzavano gli stessi punti di riferimento:

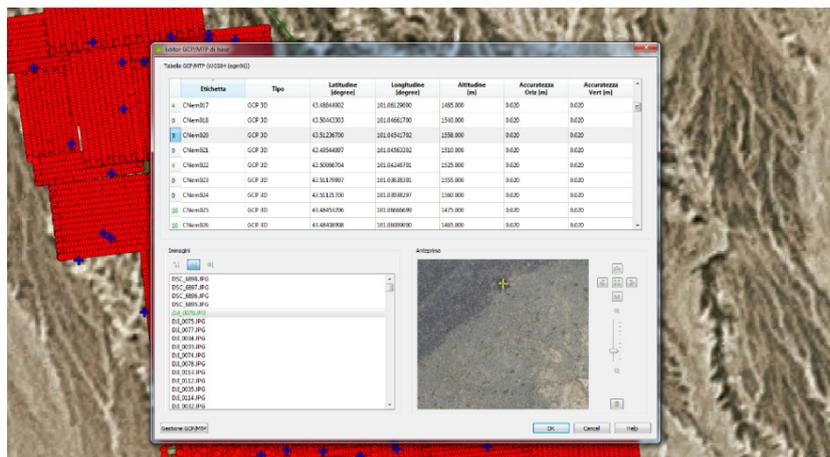


Fig. 17 – Identificazione dei punti di controllo a terra sulle immagini da drone.

Per la località Nemegt è stato necessario un ulteriore processo a causa dell'elevato numero di fotogrammi; abbiamo dovuto suddividere il lavoro in 11 sottoprogetti, definiti automaticamente dal software, facilitando così l'elaborazione dei dati per ogni singola sotto – area e, solo in secondo momento, riunire tutti i sottoprogetti in un modello unico. Essendo l'area interessata molto più grande, le numerose foto da correlare e riconoscere hanno comportato tempi di *processing* molto lunghi.

5.2 Ground Control Points

La mappatura dei *ground control point* mediante il nuovo rilevamento con GPS ha mostrato quale fosse l'accuratezza delle carte presentate nel capitolo 3 e ha permesso di definire l'esatta collocazione degli scavi storici. Infatti nella prima parte del lavoro i dati acquisiti nel 2016 sono stati utilizzati per georeferenziare con il software *ArcMap 10.1* le carte storiche utilizzando i punti corrispondenti in modo da verificare anche la loro eventuale distorsione. L'algoritmo di georeferenziazione delle mappe storiche utilizzato è

stato lo *Spline* il quale sovrappone perfettamente i punti di riferimento che vengono utilizzati (*cairn*), in questo modo la deformazione viene distribuita in maniera omogenea, cercando di mantenere le proporzioni, anche se sui bordi queste possono risultare più deformate. Solo per la mappa del *Southern Nemegt* non è stato possibile utilizzare lo *Spline* come algoritmo di georeferenziazione perché richiede un numero elevato di GCP. È stato quindi utilizzato l'algoritmo *Adjust*, il quale richiede un minimo di soli 3 GCP. Questo algoritmo utilizza una tecnica di interpolazione che combina una trasformazione polinomiale con una tecnica TIN (*triangulated irregular network*).

Tipicamente gli algoritmi *Spline* e *Adjust* danno un errore pari a zero o molto vicino allo zero anche se questo non vuol dire che l'immagine ottenuta sia completamente corretta.

Le carte georeferenziate tramite i GCP sono state quindi confrontate con le carte originali.

Per la ricostruzione e georeferenziazione della topografia ricavata sono stati utilizzati 70 *cairn* in località Nemegt e 21 nella località Khulsan.

Sono inoltre state scattate circa 40 foto panoramiche, georeferenziate a scopo cartografico e stratigrafico e approssimativamente altri 160 punti GPS utilizzati per la definizione dei contatti formazionali. I punti GPS sono risultati fondamentali per la georeferenziazione delle carte storiche, per la costruzione di un DEM ad alta risoluzione e per le interpretazioni geologiche.

Per la gestione del database GPS è stato utilizzato il software *Garmin BaseCamp 4.4.7*; il datum di riferimento utilizzato per tutto il rilievo è UTM WGS 84 fuso 47 N.

5.3 Elaborazione su ArcMap

Una volta ottenuto il modello tridimensionale del terreno, questo è stato trasferito nel software *ArcMap 10.1* insieme a tutte le informazioni raccolte per la realizzazione del sistema informativo completo. Le ortofoto e le *contour lines* importate sono state ritagliate attraverso gli strumenti di *Editing* per ottenere limiti omogenei sulle mappe.

Partendo dal modello digitale del terreno è stata verificata l'accuratezza delle *contour lines* generate da *Pix4D* e per la località Nemegt sono state attuate manualmente delle piccole correzioni soprattutto nei punti di contatto o sovrapposizione dei diversi sottoprogetti utilizzando gli strumenti di *Editing* per la correzione di shapefile lineari.

La carta geologica a grande scala è stata ottenuta integrando i Tool di ArcMap e quelli di ENVI. Su ArcMap sono stati creati nuovi shapefile basati sul medesimo datum di riferimento del progetto. Attraverso shapefile poligonali sono state delimitate tutte le zone di affioramento, in particolare nella località Nemegt sono state distinte la Fm. Baruungoyot, la Fm. Nemegt e l'*Interfingering*. Inoltre sono stati generati shapefile lineari per la definizione delle zone di drenaggio, suddivisi in *Major* e *Minor Sayr*.

Oltre a numerose foto panoramiche, sono stati utilizzati i vari punti GPS rilevati sul terreno per l'interpretazione stratigrafica:

- I *Ground Control Points*;
- I punti relativi ai giacimenti fossiliferi nella località Khulsan;
- I punti relativi ai giacimenti fossiliferi della località Nemegt, i quali sono stati rinominati secondo il numero corrispondente sulle carte, ad esempio Nem001 corrisponde allo scavo1 (Currie, 2016);
- I punti corrispondenti ai "siti a impronte" (località Nemegt);

- I punti relativi agli scavi di *Tarbosaurus* e *Gallimimus* (località Nemegt);
- Le coordinate dei campi base;
- I punti relativi alle sezioni (Gradzinski & Jerzykiewicz, 1974).

Le quote di tutti i punti sono state estratte dal modello digitale del terreno attraverso i Tool di “*Functional Surface*”.

5.4 Elaborazione su ENVI

Per ottenere la carta geologica delle località Khulsan e Nemegt, è stata condotta un’analisi spettrale utilizzando il software ENVI 4.7 (“*ENVironment for Visualizing Images*”).

Tramite il sito USGS Earth Explorer, è stata recuperata un’immagine Landsat 8 (Risoluzione = 30 m) acquisita in data: 17/03/2017. Questa è stata poi ritagliata tramite la funzione *Resize Data*, disponibile sul programma, che ha permesso di ottenere un’immagine che comprendesse solo le località di interesse e non avere così un’eccessiva mole di pixel da analizzare.

L’analisi viene condotta definendo a priori le classi che si intendono rappresentare nella mappa tematica. Per ognuna di queste bisogna identificare delle aree campione (*region of interest* = ROI) rappresentative di diverse categorie di interesse che permettono di calcolare i parametri statistici relativi alle classi tematiche in base al valore dei pixel. La natura dei pixel viene determinata dall’analista in modo diretto a partire dalla conoscenza sul campo e da processi di fotointerpretazione (pixel di training), per poi utilizzare una determinata funzione di decisione mediante la quale i pixel vengono assegnati ad una particolare classe.

In particolare sono state discriminate quattro classi:

- *Pediment*
- Formazione Baruungoyot
- Formazione Nemegt
- *Sayr*

Una volta conclusa questa fase si verifica la separabilità delle ROI, ossia si controlla che la firma spettrale dei pixel non venga confusa tra le varie classi. Per questo motivo si ricava l’indice di Jeffries-Matusita, il quale deve essere compreso generalmente tra 1.9-2, (Dessena e Melis, 2006).

Questa è una fase molto importante del lavoro perché permette di verificare l’affidabilità della descrizione delle coperture attese ed eventualmente di identificare errori nell’elaborazione ed interpretazione dei dati.

In seguito viene utilizzata una procedura di classificazione sull’intera immagine per valutare la “somiglianza” di ciascun pixel ad una classe; in particolare questi vengono comparati con le risposte spettrali delle ROI secondo un algoritmo a scelta.

Sono stati svolti diversi test utilizzando i vari algoritmi disponibili in ENVI: *Mahalanobis Distance*, *Maximum Likelihood* e, *Minimum Distance*, *Parallelepiped*.

Nella fase di post-classificazione si verifica l’accuratezza del dato ottenuto, in cui viene generata una matrice di confusione dalla quale si ricavano un valore percentuale e un indice K che indicano l’affidabilità della classificazione.

Questa classificazione ha permesso di ottenere una mappa cromatica che rappresenta una carta geologica speditiva delle località Khulsan e Nemegt.

Per ottenere un dettaglio maggiore, le ortofoto ottenute da *Pix4D* sono state importate in ENVI 4.7 e utilizzate per integrare il lavoro svolto su *ArcMap* sulle località di interesse, prese in considerazione separatamente.

Nella prima fase del lavoro è stata condotta un'analisi d'immagine, in modo da ottenere un inquadramento generale dell'area su cui poi intervenire in maniera più dettagliata.

Per facilitare il *processing*, è stata creata una maschera importando in ENVI lo shapefile relativo ai limiti degli affioramenti. In questo modo i pixel contenuti nelle aree mascherate sono stati esclusi dalla classificazione semplificando e velocizzando il calcolo.

Per questo tipo di analisi sono state scelte solamente due classi da discriminare, fondamentalmente sulla base del loro valore RGB.

Region of interest:

- *Older Pediment*
- *Younger Pediment*

La classificazione ha permesso di ottenere, anche in questo caso delle mappe cromatiche che rappresentano la distribuzione areale dei due *pediments*.

Per completare la mappa, sono successivamente stati aggiunti i *sayr* e i limiti degli affioramenti, nel caso della località Khulsan la formazione Baruongoyot e nel caso della località Nemegt, la successione stratigrafica completa: Fm. Baruongoyot, *Interfingering* e Fm. Nemegt.

6 Georeferenziazione della cartografia storica e analisi della distorsione dei dati

Uno dei primi obiettivi di questo studio è stato quello di confrontare i dati presentati in letteratura, con i nuovi dati raccolti durante la spedizione del 2016. Questo perché con i mezzi disponibili oggi, si riescono ad ottenere dati molto precisi, con errori prossimi allo zero.

Per questo, i quattro fogli relativi alle località Khulsan e Nemegt presentati nel capitolo 2.3, sono stati georeferenziati sul software *ArcMap*, utilizzando i *cairn* visibili sulle mappe, che essendo presenti ancora oggi sono stati rimappati con l'ausilio del GPS.

Le quote dei GCP (simboli neri) sono state calcolate con i *3D Analyst Tool*, proiettando la posizione del singolo punto sul modello digitale del terreno ed estraendo così la quota da questo.

Per i nomi, le coordinate e il valore di quota relativo a tutti i GCP si fa riferimento alle tabelle riportate sotto le mappe delle diverse località.

Di seguito sono riportate quindi le mappe storiche, confrontate con le stesse mappe, georeferenziate.

6.1 Khulsan

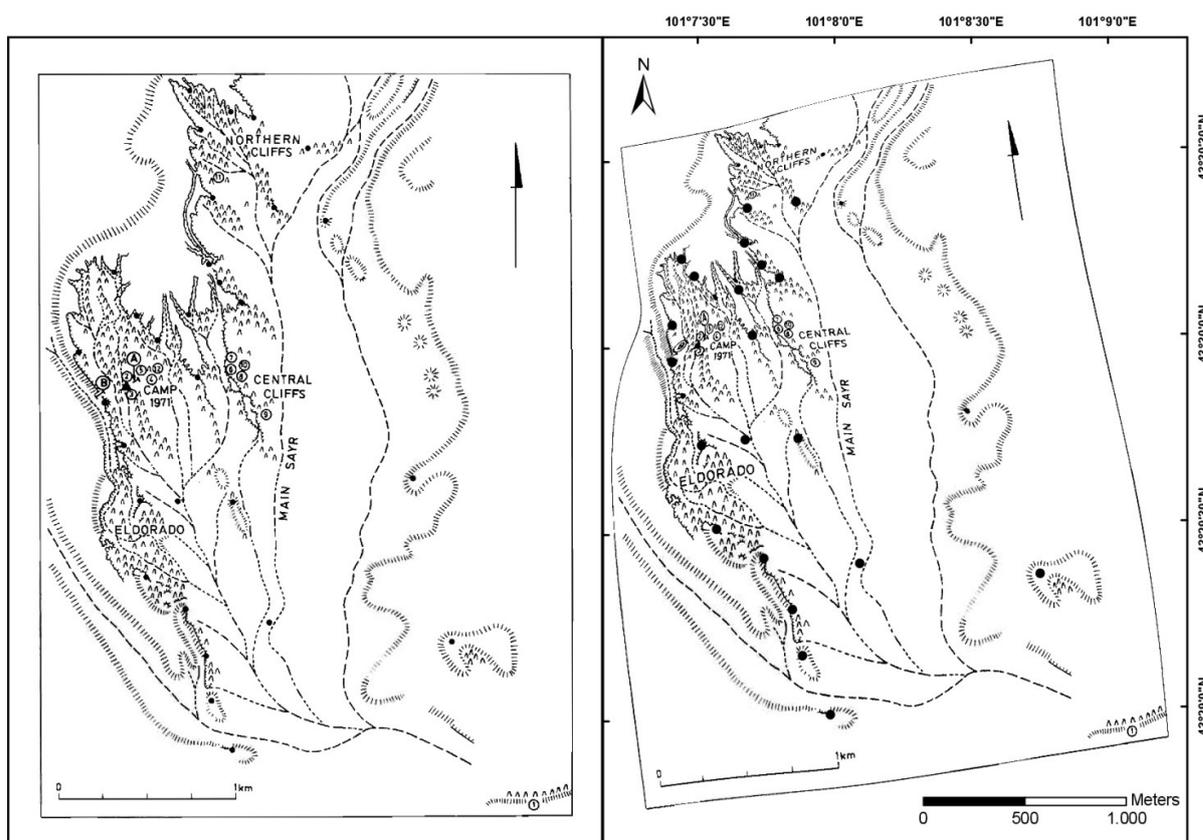


Fig.18 - A sinistra: Mappa della località Khulsan (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1972); A destra: Georeferenziazione della stessa mappa.

La Fig. 18 mostra la mappa della località di Khulsan, disegnata da Gradzinski e Jerzykiewicz nel 1972 (sinistra); a destra si mostra la deformazione della stessa mappa in seguito alla georeferenziazione tramite l'algoritmo *Spline*.

Le quote dei GCP sono quelle ricavate dal modello digitale del terreno tranne nel caso dei punti CK 2, 12, 31, 34, 35, 40 per i quali sono state utilizzate le quote ottenute dal GPS perché non sono ubicati all'interno del modello.

Khulsan risulta essere la zona più deformata tra le varie carte analizzate. Infatti in questo caso oltre alla distorsione rispetto al Nord che è maggiore dei casi che seguono (9 gradi), l'intera mappa presenta numerose differenze rispetto a quella originale.

Le scale presentano una differenza di circa 125 m.

Tutta la fascia ad ovest viene deformata dopo la georeferenziazione, in particolar modo l'area centrata sulle coordinate 43°30'0" N – 101°7'30"E.

L'area a Nord del campo risulta anche di forma diversa, la fascia occidentale è infatti meno arrotondata e più piccola rispetto alle proporzioni generali della mappa.

Anche la zona del *Northern Cliffs* ha una dimensione minore e presenta una forma leggermente diversa.

La parte orientale della mappa non presenta invece evidenti distorsioni.

Il concentramento dei punti di controllo nella parte occidentale ha probabilmente contribuito ad aumentare la distorsione in questa fascia, ma la quantità dei GCP è comunque sufficiente per considerare la ricollocazione affidabile.

I punti mappati sono 21, concentrati maggiormente nella fascia occidentale.

| Khulsan | | | |
|----------------|-------------------|--------------------|----------|
| GCP | Latitudine | Longitudine | Z |
| CK f 1 | 101° 7' 37,380" E | 43° 30' 8,939" N | 1457,161 |
| CK1 | 101° 7' 37,920" E | 43° 29' 44,700" N | 1402,333 |
| CK2 | 101° 8' 2,400" E | 43° 29' 24,421" N | 1309,9 |
| CK3 | 101° 7' 52,381" E | 43° 29' 40,020" N | 1422,302 |
| CK4 | 101° 7' 49,321" E | 43° 29' 9,719" N | 1422,104 |
| CK5 | 101° 7' 47,280" E | 43° 29' 17,279" N | 1428,195 |
| CK6 | 101° 7' 41,340" E | 43° 29' 25,559" N | 1419,194 |
| CK7 | 101° 7' 31,080" E | 43° 29' 30,480" N | 1418,066 |
| CK8 | 101° 7' 28,319" E | 43° 29' 43,980" N | 1435,726 |
| CK10 | 101° 7' 49,501" E | 43° 29' 44,700" N | 1407,051 |
| CK12 | 101° 8' 41,881" E | 43° 29' 22,020" N | 1442,6 |
| CK31 | 101° 7' 22,379" E | 43° 29' 57,480" N | 1465 |
| CK32 | 101° 7' 22,620" E | 43° 30' 3,481" N | 1463,15 |
| CK34 | 101° 7' 25,021" E | 43° 30' 14,101" N | 1459 |
| CK35 | 101° 7' 27,721" E | 43° 30' 11,221" N | 1459 |
| CK37 | 101° 7' 40,080" E | 43° 30' 1,501" N | 1456,789 |
| CK38 | 101° 7' 46,380" E | 43° 30' 10,680" N | 1451,838 |
| CK39 | 101° 7' 42,600" E | 43° 30' 12,780" N | 1469,399 |
| CK40 | 101° 7' 38,820" E | 43° 30' 16,380" N | 1434 |
| CK41 | 101° 7' 39,720" E | 43° 30' 22,021" N | 1456,569 |
| CK47 | 101° 7' 50,459" E | 43° 30' 22,799" N | 1445,216 |

Tab. 5

6.2 Northern Nemegt

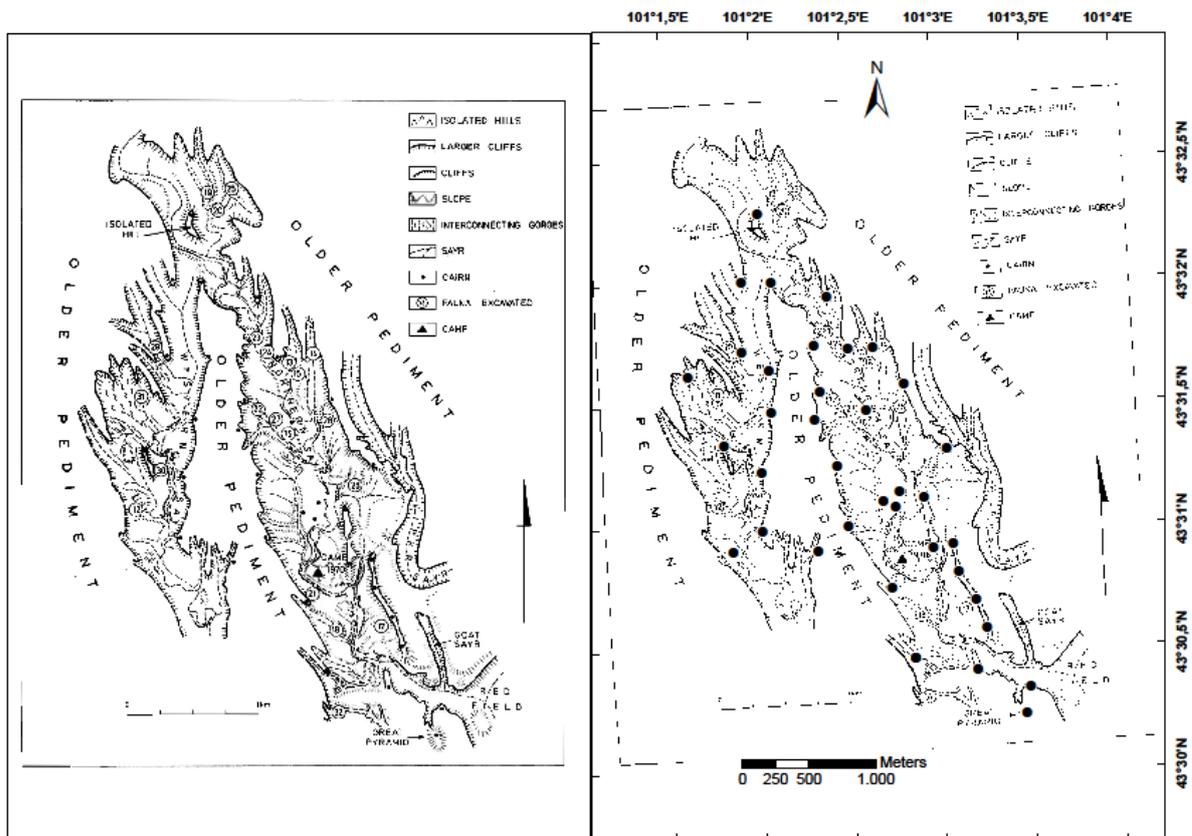


Fig.19 – A sinistra: Mappa del Northern Nemegt (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1972); A destra: Georeferenziazione della stessa mappa.

L'immagine a sinistra in Fig. 19 mostra la mappa del *Northern Nemegt*, disegnata da Gradzinski e Jerzykiewicz nel 1972; l'immagine a destra mostra la deformazione della mappa in seguito alla georeferenziazione tramite l'algoritmo *Spline*.

Confrontando le due mappe si può notare come la distorsione dei dati in questo caso sia minima, infatti la proporzione tra le morfologie presenti resta perlopiù invariata. La scala è molto simile, infatti presenta una differenza di soli 22 m.

La posizione del Nord è ruotata verso Ovest anche in questa mappa ma di soli 3 gradi.

L'elevata affidabilità di questa mappa è data dal fatto che i punti utilizzati per la georeferenziazione sono numerosi e sono distribuiti in maniera abbastanza omogenea su tutta la carta in modo da non creare distorsioni per fattori esterni.

Per la georeferenziazione di questa mappa sono stati utilizzati 37 punti di controllo.

| Northern Nemegt | | | |
|------------------------|-------------------|--------------------|----------|
| GCP | Latitudine | Longitudine | Z |
| CN8 | 101° 3' 11,520" E | 43° 30' 24,181" N | 1520 |
| CN9 | 101° 3' 27,432" E | 43° 30' 13,320" N | 1550 |
| CN19 | 101° 2' 29,339" E | 43° 31' 0,001" N | 1555 |
| CN20 | 101° 2' 43,501" E | 43° 30' 44,521" N | 1545 |
| CN27 | 101° 3' 28,919" E | 43° 30' 19,919" N | 1529 |
| CN29 | 101° 2' 50,700" E | 43° 30' 27,480" N | 1544 |
| CN30 | 101° 2' 57,419" E | 43° 30' 54,180" N | 1538 |
| CN31 | 101° 2' 19,079" E | 43° 30' 54,000" N | 1541 |
| CN33 | 101° 2' 26,099" E | 43° 31' 14,819" N | 1558 |
| CN34 | 101° 2' 41,219" E | 43° 31' 5,819" N | 1525 |
| CN35 | 101° 2' 45,179" E | 43° 31' 4,379" N | 1525 |
| CN36 | 101° 2' 46,619" E | 43° 31' 8,400" N | 1525 |
| CN37 | 101° 2' 54,780" E | 43° 31' 6,780" N | 1542 |
| CN38 | 101° 3' 4,140" E | 43° 30' 55,199" N | 1544 |
| CN39 | 101° 3' 5,699" E | 43° 30' 48,420" N | 1547 |
| CN40 | 101° 3' 11,401" E | 43° 30' 41,461" N | 1545 |
| CN41 | 101° 3' 14,760" E | 43° 30' 34,499" N | 1548 |
| CN47 | 101° 1' 30,900" E | 43° 32' 54,481" N | 1620 |
| CN49 | 101° 1' 55,416" E | 43° 32' 0,276" N | 1598 |
| CN50 | 101° 2' 5,388" E | 43° 32' 0,096" N | 1599 |
| CN51 | 101° 2' 4,081" E | 43° 31' 38,579" N | 1543 |
| CN52 | 101° 2' 19,021" E | 43° 31' 26,101" N | 1563 |
| CN54 | 101° 2' 1,439" E | 43° 32' 17,041" N | 1602 |
| CN60 | 101° 2' 12,779" E | 43° 32' 8,880" N | 1593 |
| CN85 | 101° 2' 23,881" E | 43° 31' 56,521" N | 1577 |
| CN86 | 101° 2' 30,599" E | 43° 31' 43,680" N | 1576 |
| CN87 | 101° 2' 19,201" E | 43° 31' 44,339" N | 1574 |
| CN88 | 101° 2' 36,121" E | 43° 31' 28,380" N | 1537 |
| CN95 | 101° 2' 20,940" E | 43° 31' 33,060" N | 1565 |
| CN97 | 101° 2' 0,900" E | 43° 31' 13,620" N | 1581 |
| CN98 | 101° 2' 0,661" E | 43° 30' 59,101" N | 1546 |
| CN99 | 101° 2' 4,499" E | 43° 31' 28,081" N | 1569 |
| CN100 | 101° 1' 48,601" E | 43° 31' 20,280" N | 1602 |
| CN107 | 101° 2' 38,821" E | 43° 31' 43,619" N | 1570 |
| CN108 | 101° 2' 48,901" E | 43° 31' 34,619" N | 1564 |
| CN109 | 101° 1' 37,020" E | 43° 31' 37,319" N | 1607 |
| CN122 | 101° 1' 55,081" E | 43° 31' 43,021" N | 1588 |

Tab. 6

6.3 Central Nemegt

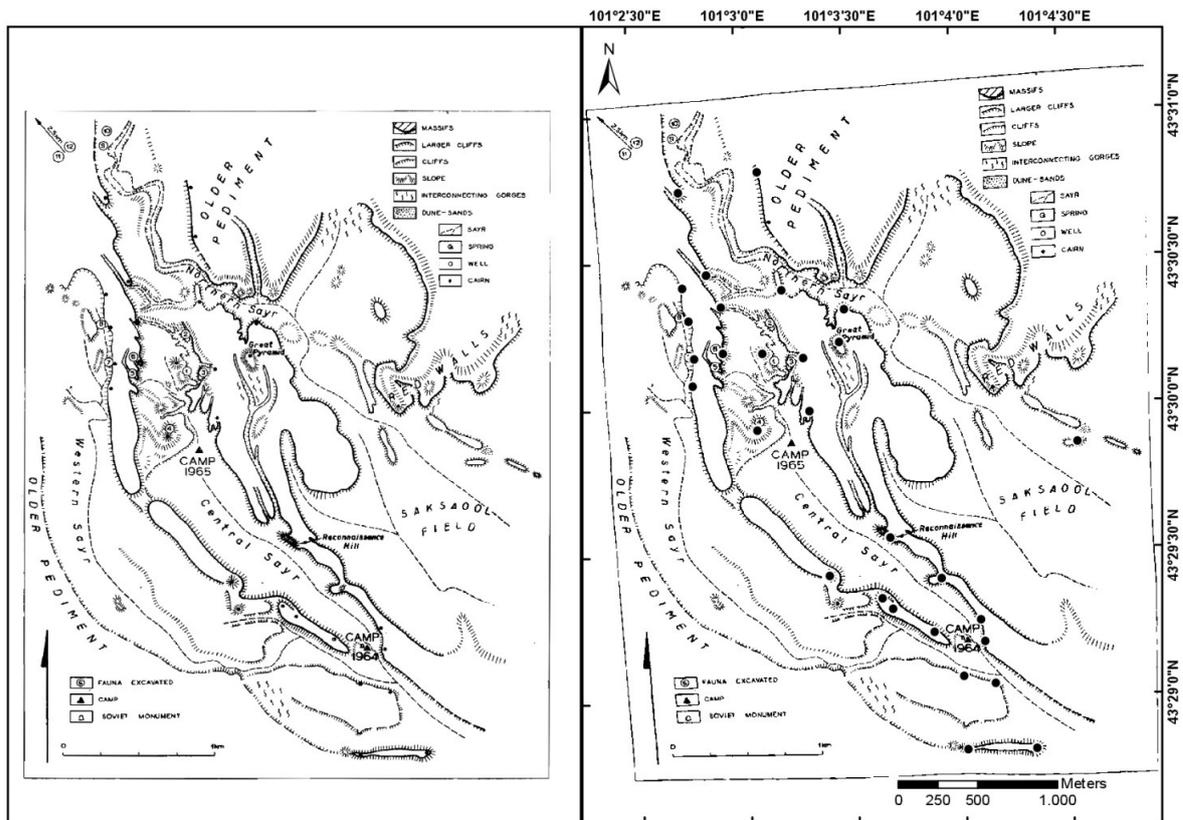


Fig.20 - A sinistra: Mappa del Central Nemegt (Gradzinski et al., 1968); A destra: Georeferenziazione della stessa mappa.

La mappa del *Central Nemegt* (Fig. 20) mostra nell'immagine a sinistra la mappa disegnata da un gruppo di geologi guidati da Gradzinski nel 1968; a destra invece si mostra la deformazione della stessa mappa in seguito alla georeferenziazione tramite l'algoritmo *Spline*.

Confrontando la carta originale con quella correttamente georeferenziata notiamo come anche in questo caso sia evidente la distorsione della mappa originale e soprattutto l'angolazione rispetto al Nord reale, che in questo caso risulta ruotato di circa 5 gradi sempre verso Ovest. La differenza tra le due scale in questo caso presenta un errore di circa 58 m.

Tra le mappe presentate nei vari articoli pubblicati da Gradzinski e i suoi colleghi tra il 1968 e il 1977, è stata verificata l'accuratezza anche di quella che rappresenta il dettaglio della parte settentrionale del Central Nemegt (Fig.26, Gradzinski, 1970) che documenta la presenza di scheletri di dinosauro in questa zona. Infatti la scala della carta è di 10 m ma da verifiche svolte con l'ausilio dei nuovi dati topografici si è visto come questa dovrebbe essere di 100 m.

L'errore in questo caso non è assolutamente trascurabile, in quanto avere una differenza così elevata fa perdere la percezione delle dimensioni reali degli oggetti presenti nella carta e di conseguenza può portare ad interpretazioni errate. Probabilmente però, si tratta

di un refuso nella stampa della carta, considerando che la mappa è l'unica tra quelle analizzate a presentare un errore così importante.

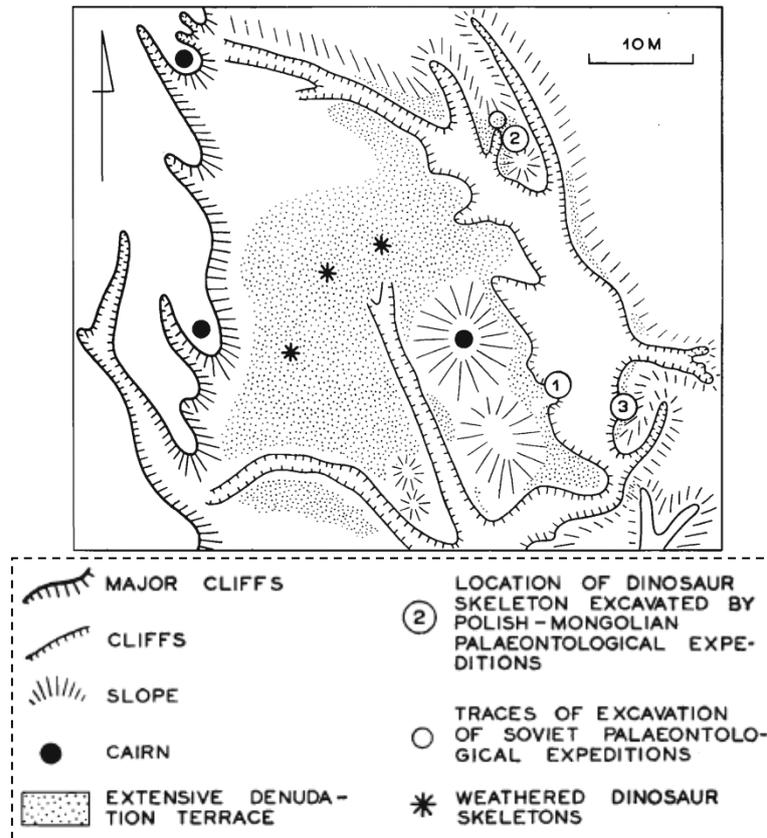


Fig. 21 – Dettaglio della parte Nord del Central Sayr, (Gradzinski, 1970).

Per la georeferenziazione del Central Nemegt sono stati utilizzati 29 punti di controllo.

| Central Nemegt | | | |
|-----------------------|-------------------|-------------------|----------|
| GCP | Latitudine | Longitudo | Z |
| CN1 | 101° 2' 43,915" E | 43° 30' 24,829" N | 1548 |
| CN2 | 101° 2' 54,600" E | 43° 30' 20,880" N | 1526 |
| CN4 | 101° 2' 54,780" E | 43° 30' 11,401" N | 1549 |
| CN7 | 101° 3' 4,021" E | 43° 29' 55,500" N | 1549 |
| CN8 | 101° 3' 11,520" E | 43° 30' 24,181" N | 1521 |
| CN9 | 101° 3' 27,432" E | 43° 30' 13,320" N | 1581 |
| CN10 | 101° 3' 17,219" E | 43° 30' 10,199" N | 1529 |
| CN11 | 101° 3' 18,720" E | 43° 29' 59,219" N | 1539 |
| CN14 | 101° 3' 23,220" E | 43° 29' 25,379" N | 1554 |
| CN16 | 101° 3' 37,728" E | 43° 29' 20,580" N | 1549 |
| CN17 | 101° 3' 40,644" E | 43° 29' 18,384" N | 1542 |
| CN20 | 101° 2' 43,501" E | 43° 30' 44,521" N | 1543 |
| CN25 | 101° 4' 0,001" E | 43° 29' 4,319" N | 1519 |
| CN26 | 101° 4' 8,724" E | 43° 29' 2,724" N | 1515 |
| CN27 | 101° 3' 28,919" E | 43° 30' 19,919" N | 1529 |
| CN29 | 101° 2' 50,700" E | 43° 30' 27,480" N | 1544 |
| CN39 | 101° 3' 5,699" E | 43° 30' 48,420" N | 1542 |
| CN45 | 101° 4' 6,179" E | 43° 29' 11,281" N | 1506 |
| CN57 | 101° 3' 54,479" E | 43° 29' 24,421" N | 1522 |
| CN58 | 101° 4' 5,099" E | 43° 29' 15,781" N | 1505 |
| CN92 | 101° 3' 5,879" E | 43° 30' 11,221" N | 1539 |
| CN113 | 101° 4' 33,240" E | 43° 29' 51,828" N | 1524 |
| CN114 | 101° 2' 46,799" E | 43° 30' 10,440" N | 1555 |
| CN115 | 101° 2' 45,420" E | 43° 30' 18,180" N | 1551 |
| CN116 | 101° 4' 0,721" E | 43° 28' 49,321" N | 1510 |
| CN117 | 101° 4' 19,981" E | 43° 28' 49,199" N | 1519 |
| CN118 | 101° 3' 52,020" E | 43° 29' 13,416" N | 1537 |
| CN120 | 101° 3' 40,381" E | 43° 29' 32,881" N | 1550 |
| CN126 | 101° 2' 46,259" E | 43° 30' 4,799" N | 1556 |

Tab. 7

6.4 Southern Nemegt

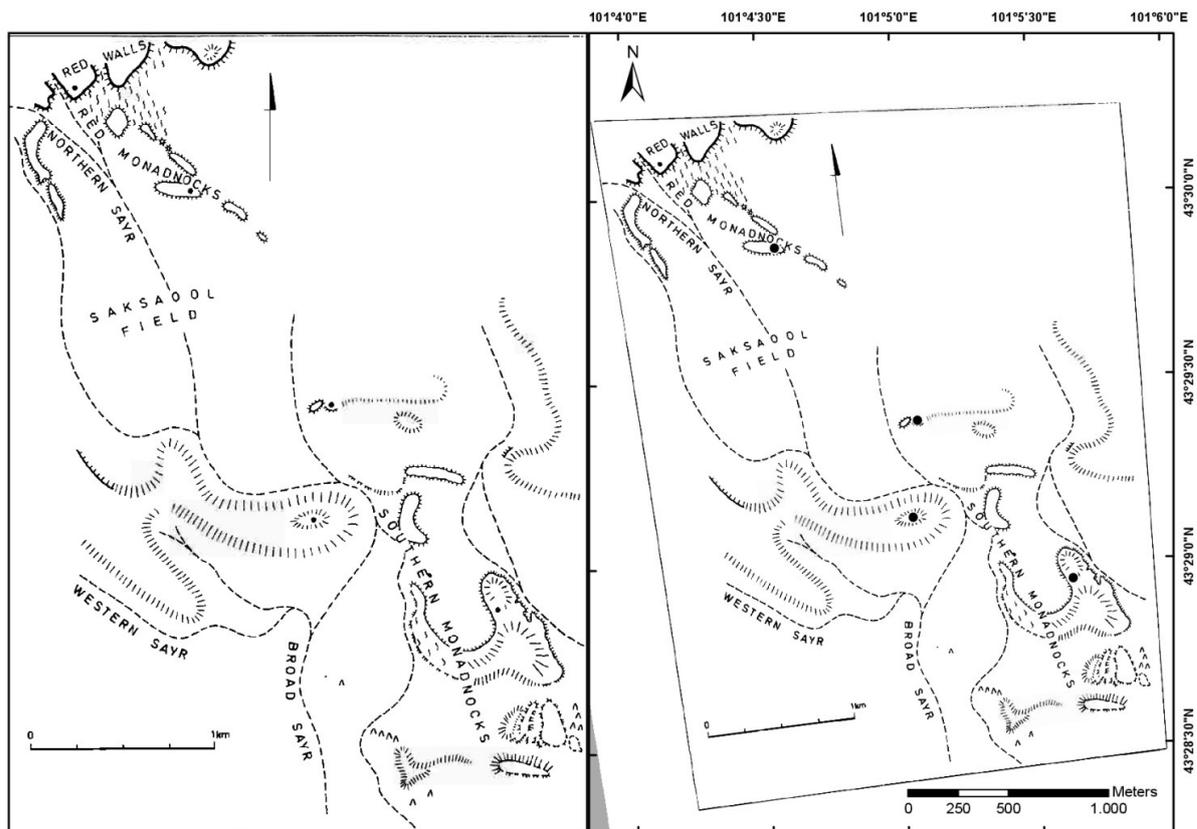


Fig. 22 - A sinistra: Mappa del Southern Nemegt (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1972); A destra: Georeferenziazione della stessa mappa.

L'immagine a sinistra in Fig. 22 mostra la mappa del *Southern Nemegt* disegnata da Gradzinski e Jerzykiewicz nel 1972; a destra si mostra la deformazione della stessa mappa in seguito alla georeferenziazione tramite l'algoritmo *Adjust*.

Per la georeferenziazione di questa parte del Nemegt sono stati utilizzati 4 punti di controllo. In questo caso, solo per il CN 122 la quota è quella ottenuta dai dati del GPS perché non ricade all'interno del modello.

Sicuramente l'evidente maggior differenza che si nota confrontando le due mappe è in parte dovuta alla scarsa disponibilità di punti. Anche qui è presente la solita distorsione rispetto al Nord, in questo caso di circa 8 gradi.

La scala è significativamente diversa (265 m) come anche la proporzione tra le varie morfologie presenti.

| Southern Nemegt | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|------|
| GCP | Latitudine | Longitudine | Z |
| CN110 | 101° 5' 37,619" E | 43° 28' 57,000" N | 1508 |
| CN111 | 101° 5' 2,519" E | 43° 29' 7,379" N | 1508 |
| CN112 | 101° 5' 4,081" E | 43° 29' 23,219" N | 1453 |
| CN113 | 101° 4' 33,240" E | 43° 29' 51,828" N | 1527 |

Tab. 8

7 Modello digitale del terreno

Le foto ottenute tramite l'ausilio del velivolo "DJI Phantom 3 Professional" sono state importate nel software *Pix4D mapper*. Lo scopo è quello di ottenere mappe maggiormente dettagliate e precise delle località Khulsan e Nemegt, partendo dai nuovi dati acquisiti durante l'estate del 2016,

Dalle immagini scattate in volo vengono ricostruite delle nuvole di punti omologhi disposti nelle tre dimensioni, questi vengono poi trasformati in superfici collegandoli con un insieme di vertici in uno spazio tridimensionale. Si ottengono poi il modello 3D del terreno e le ortofoto utili all'analisi ed interpretazione dei dati di terreno.

Le impostazioni iniziali valide per tutti i progetti sono riportate nella tabella sottostante:

| | |
|---|---|
| <i>Image Scale</i> | Multiscale ½ (Half image size, default) |
| <i>Advanced: 3D Textured Mesh Generation</i> | yes |
| <i>3D Textured Mesh Settings</i> | Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: yes |
| <i>Advanced: 3D Textured Mesh Settings</i> | Sample Density Divider: 1 |
| <i>Advanced: Matching Window Size</i> | 7x7 pixels |
| <i>Advanced: Use Processing Area</i> | yes |
| <i>Advanced: Use Annotations</i> | yes |
| <i>Advanced: Limit Camera Depth Automatically</i> | no |
| <i>DSM and Orthomosaic Resolution</i> | 1 x GSD (3.12 [cm/pixel]) |
| <i>DSM Filters</i> | Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes Type: Sharp |
| <i>Raster DSM</i> | Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes |
| <i>Orthomosaic</i> | Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no |
| <i>Grid DSM</i> | Generated: yes Spacing [cm]: 100 |
| <i>Raster DTM</i> | Generated: yes Merge Tiles: yes |

| | |
|---------------------------------|---|
| <i>DTM Resolution</i> | 5 x GSD (3.12 [cm/pixel]) |
| <i>Contour Lines generation</i> | Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 5 (Khulsan); 25 (Nemegt) Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 20 |

Tab. 9

7.1 Khulsan

Per la creazione del modello digitale del terreno nella località Khulsan, sono state utilizzate 3278 immagini.

Nell'immagine a sinistra viene mostrato l'ortomosaico generato dall'unione delle immagini da drone con la rispettiva nuvola di punti prima della densificazione.

Nell'immagine a destra viene mostrata la posizione delle immagini iniziali corrispondenti ai pallini blu e la posizione delle immagini processate, corrispondenti ai pallini verdi.

Come si può notare dall'immagine a destra, non ci sono punti di errore e tutte le immagine risultano ben calibrate. In questo caso l'accuratezza del risultato è sicuramente ottimale, probabilmente grazie anche alla dimensione relativamente piccola dell'area.

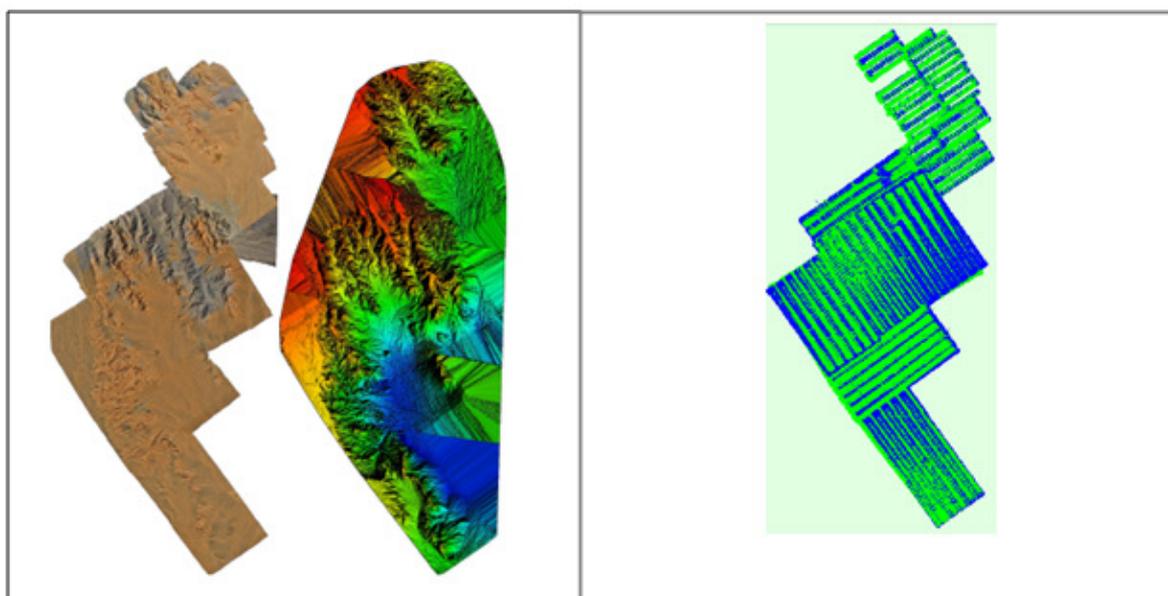


Fig.23

- Area coperta = 20234 km².
- 33406 keypoints per immagine.
- 3278 immagini calibrate correttamente su un totale di 3278 (100%).
- 3278 immagini geolocalizzate.
- media di 11734.4 matches per immagine calibrata.

Il modello è stato poi opportunamente ritagliato attraverso gli strumenti di *Clip* per immagini “raster”, seguendo i contorni delle foto. In questo modo si evitano le aree con una ricostruzione insoddisfacente dovuta alla copertura scarsa o assente.

7.2 Nemegt

La località Nemegt rilevata comprende un’area di 167969 km², per questo motivo l’elevato numero di foto da processare ha creato numerosi problemi. In un primo momento l’intero set di dati è stato caricato in *Pix4D*. Dopo il riconoscimento dei punti di controllo e numerosi tentativi di elaborazione dell’intera zona, i dati sono stati suddivisi in 11 sottoprogetti.

Di seguito sono riportati i dati relativi alle diverse sotto-aree; nelle immagini a sinistra viene mostrato l’ortomosaico generato dall’unione delle immagini da drone con la rispettiva nuvola di punti prima della densificazione.

Nelle immagini a destra viene mostrata la posizione delle immagini iniziali corrispondenti ai simboli blu, la posizione delle immagini processate, corrispondenti ai simboli verdi ed eventuali errori che possono essere dovuti a problemi nel sistema di coordinate o ai parametri del sistema di ripresa, al posizionamento dei GCP, ecc, (simboli rossi).

➤ Sottoprogetto 1

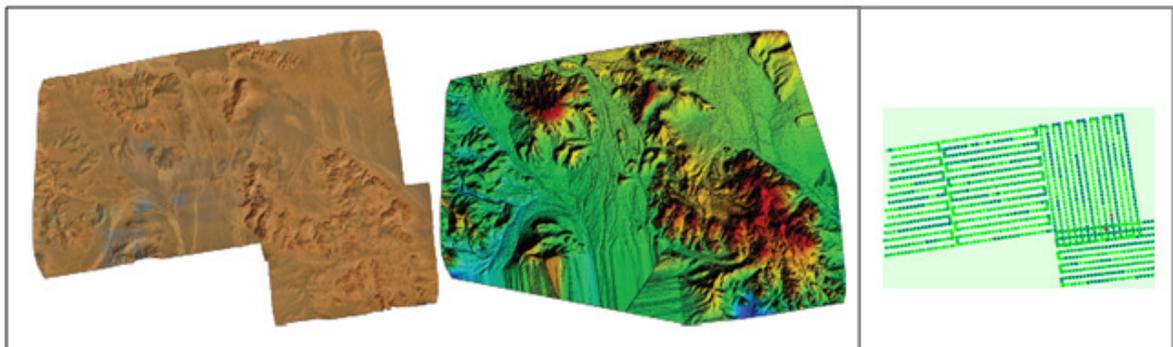


Fig.24

- Area coperta=11281 km²
- 28564 keypoints per immagine.
- 1570 immagini calibrate correttamente su un totale di 1607 (97%).
- 1595 immagini geolocalizzate.
- media di 11182.4 matches per immagine calibrata.

➤ **Sottoprogetto 2**

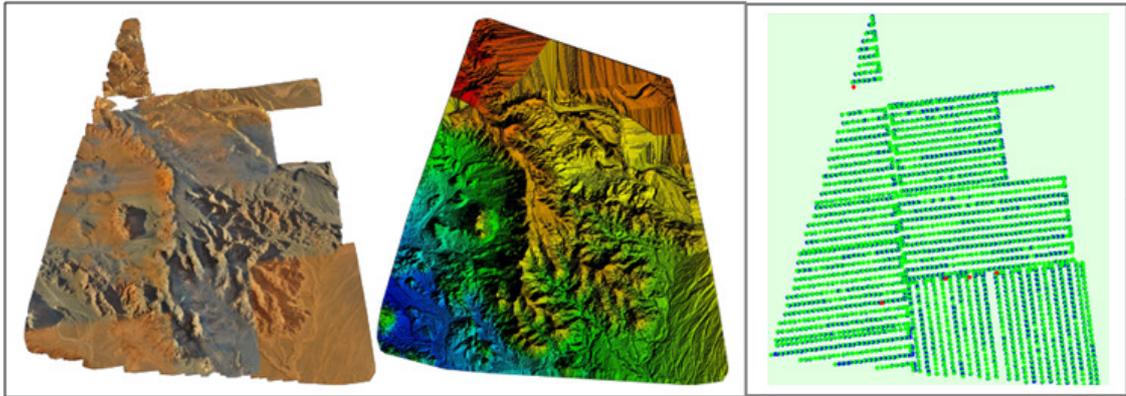


Fig.25

- Area coperta = 16221 km².
- 37051 keypoints per immagine.
- 2197 immagini calibrate correttamente su un totale di 2282 (96%).
- 2263 immagini geolocalizzate.
- media di 15180.8 matches per immagine calibrata.

➤ **Sottoprogetto 3**

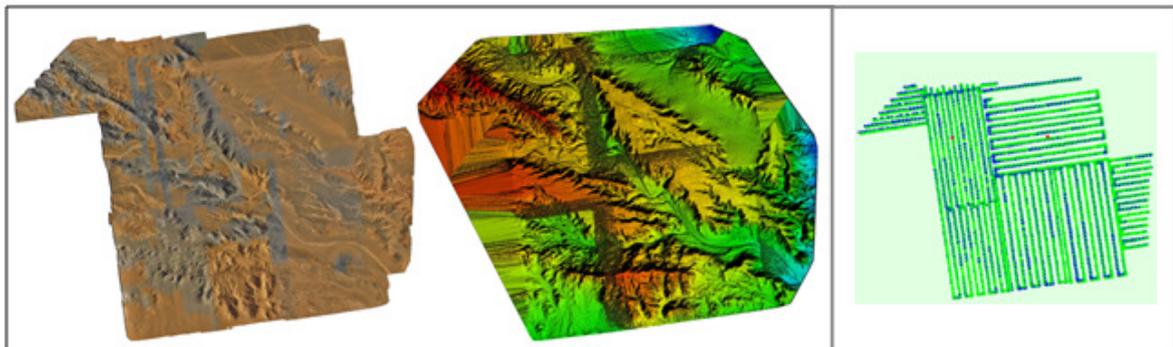


Fig. 26

- Area coperta = 18229 km².
- 31337 keypoints/immag.
- 2391 immagini calibrate correttamente su un totale di 2424 (98%).
- 2405 immagini geolocalizzate.
- media di 13453.3 matches per immagine calibrata.

➤ **Sottoprogetto 4**

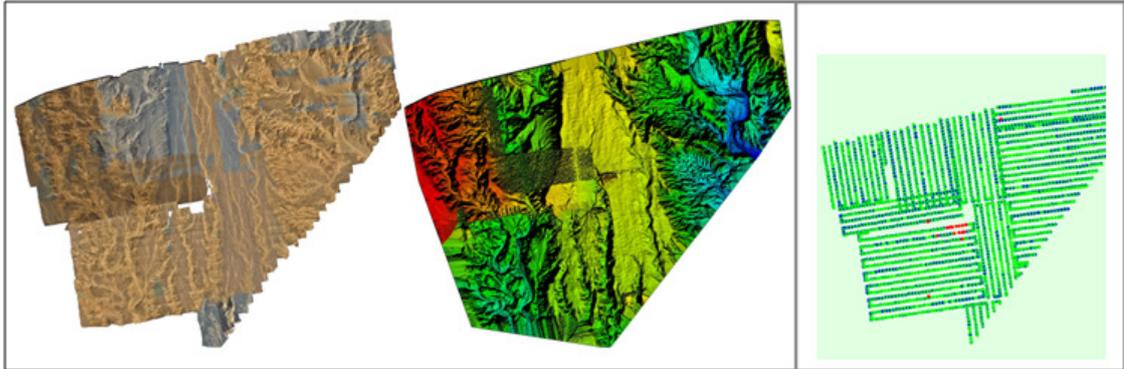


Fig. 27

- Area coperta = 17662 km².
- 45324 keypoints per immagine.
- 2482 immagini calibrate correttamente su un totale di 2529 (98%).
- 2517 immagini geolocalizzate.
- media di 15992 matches per immagine calibrata.

➤ **Sottoprogetto 5**

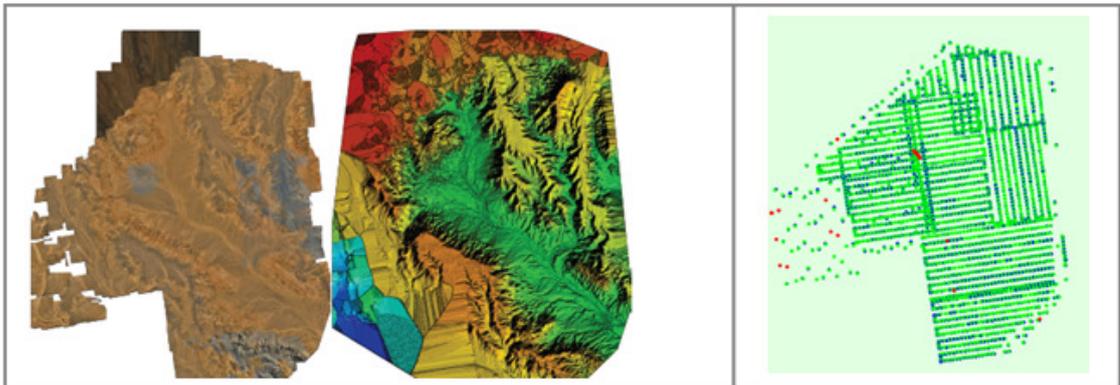


Fig. 28

- Area coperta = 18184 km².
- 33031 keypoints per immagine.
- 2385 immagini calibrate correttamente su un totale di 2483 (96%).
- 2557 immagini geolocalizzate.
- Media di 11485.5 matches per immagine calibrata.

➤ **Sottoprogetto 6**

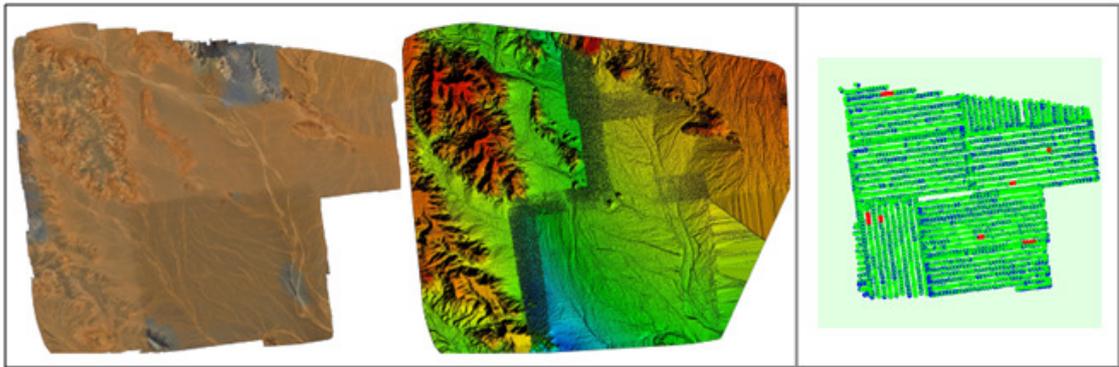


Fig. 29

- Area coperta = 18227 km².
- 22076 keypoints per immagine.
- 2508 immagini calibrate correttamente su un totale di 2528 (99%).
- 2534 immagini geolocalizzate.
- media di 9989.49 matches per immagine calibrata.

➤ **Sottoprogetto 7**

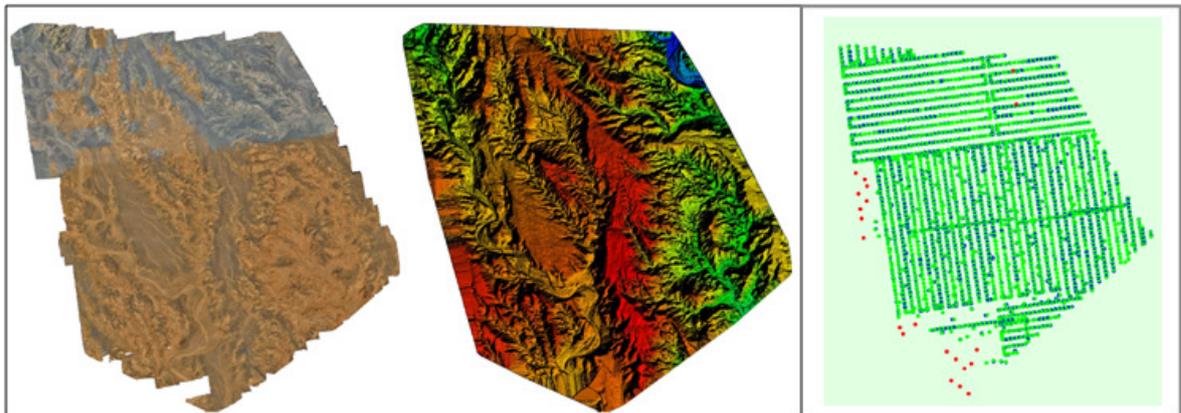


Fig.30

- Area coperta = 16847 km².
- 39925 keypoints per immagine.
- 2482 immagini calibrate correttamente su un totale di 2530 (98%).
- 2527 immagini geolocalizzate.
- media di 13652.6 matches per immagine calibrata.

➤ **Sottoprogetto 8**

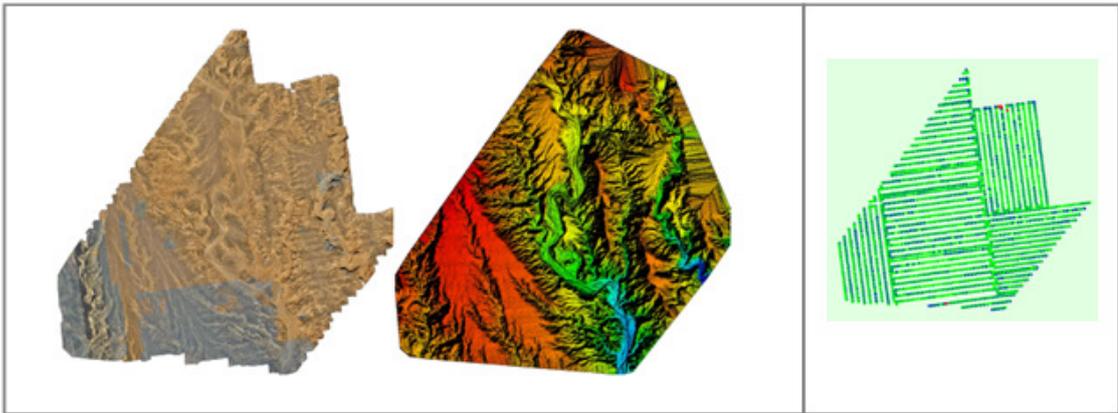


Fig. 31

- Area coperta = 17881 km².
- 44782 keypoints per immagine.
- 2445 immagini calibrate correttamente su un totale di 2470 (98%).
- 2451 immagini geolocalizzate.
- media di 16028.8 matches per immagine calibrata.

➤ **Sottoprogetto 9**

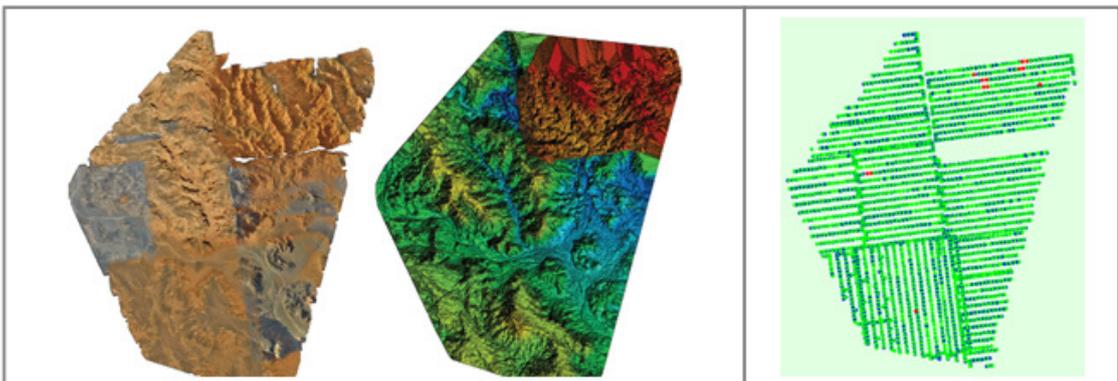


Fig. 32

- Area coperta = 16934 km².
- 2776 keypoints per immagine.
- 2512 immagini calibrate correttamente su un totale di 2566 (97%).
- 2554 immagini geolocalizzate.
- media di 906.729 matches per immagine calibrata.

➤ **Sottoprogetto 10**

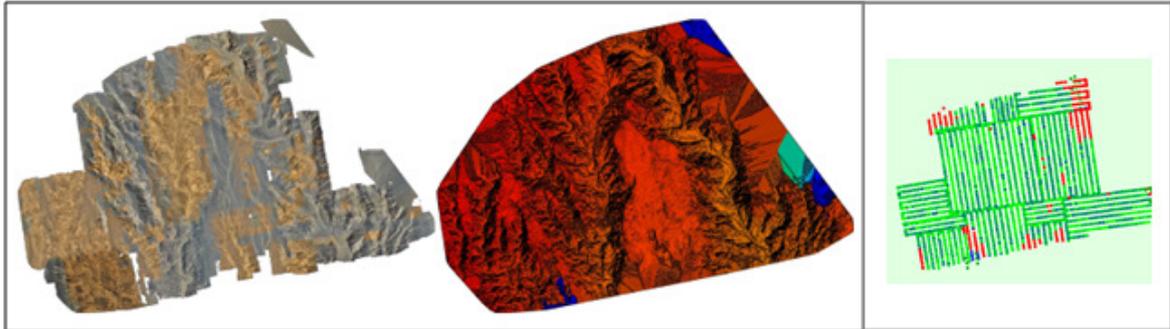


Fig. 33

- Area coperta= 15165 km².
- 2188 keypoints per immagine
- 2262 immagini calibrate correttamente su un totale di 2551 (88%).
- 2527 immagini geolocalizzate.
- media di 13652.6 matches per immagine calibrata.

➤ **Sottoprogetto 11**

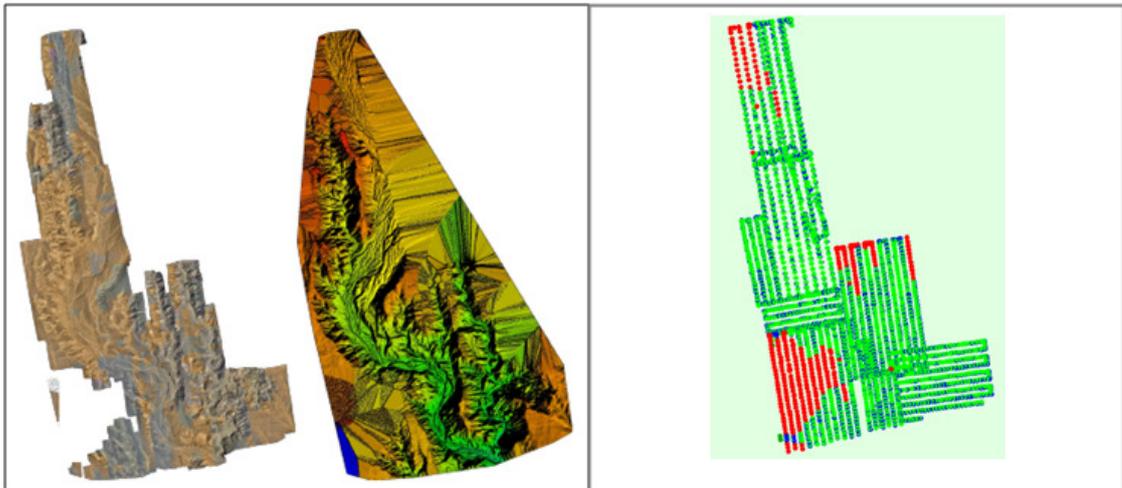


Fig. 34

- Area coperta= 1338 km².
- 51237 keypoints per immagine.
- 1786 immagini calibrate correttamente su un totale di 2132 (83%).
- 2107 immagini geolocalizzate.
- media di 27114.6 matches per immagine calibrata.

Alla fine gli 11 sottoprogetti sono stati riuniti insieme sotto *Pix4D*, utilizzando l'apposita funzione "*merge*" in modo da ottenere un unico modello.

Il vantaggio nell'aver utilizzato questo tipo di approccio è che attraverso le immagini acquisite dal drone, facendo un'elaborazione fotogrammetrica, è stato generato un

modello digitale del terreno su cui sono state basate le interpretazioni topografiche e geologiche e su cui sono stati collocati i diversi punti acquisiti sul campo con una precisione decimetrica sull'orizzontale e di alcuni metri sulla verticale.

8 Carta topografica

Non essendo presenti in letteratura carte topografiche delle località Khulsan e Nemegt, uno dei principali obiettivi di questo studio è stato proprio quello di costruire nuove carte di riferimento con maggiore dettaglio.

Infatti le uniche carte disponibili presentano indicazioni sommarie riguardo le morfologie presenti nelle diverse zone e non forniscono alcun dato numerico sull'asse z.

Una volta ottenuto il modello digitale del terreno, questo è stato importato in *ArcMap* in modo da poter essere integrato con gli altri dati raccolti ed ottenere un'informazione quanto più possibile chiara ed esaustiva.

Sono state importate le isoipse generate direttamente dal software *Pix4D* durante l'elaborazione. Queste risultano più dettagliate nella località Khulsan con equidistanza 5 m, mentre nel caso del Nemegt si è scelto di impostare un'equidistanza maggiore, pari a 25 m, per velocizzare il *processing* e rendere il dato più leggibile.

Per rendere al meglio la percezione tridimensionale sono state scelte come rappresentazione della superficie le isoipse sovrapposte alla tinta isometrica di tipo "stretched". In questo modo oltre ad avere una buona percezione della morfologia del terreno, si hanno contemporaneamente i dati numerici che possono essere utili per interpretazioni di carattere stratigrafico.

Nella località Khulsan la quota minima è 1395 e la massima è 1475 m.s.l.m., nella località Nemegt la quota minima è 1475 m.s.l.m. e la massima è 1625 m.s.l.m.

Nei tre fogli del Nemegt, la tinta ipsometrica è stata impostata con valori di contrasto del 20% e luminosità (-5%), così da evidenziare ulteriormente le diverse morfologie presenti.

Sono stati poi inseriti i GCP, i punti relativi ai campi e quelli relativi agli scavi presenti sulle mappe storiche in modo da avere dei punti di riferimento per confrontare la vecchia e la nuova cartografia.

Infatti per completare le carte topografiche relative ai quattro fogli presentati nel capitolo 3 sono state sovrapposte le carte storiche georeferenziate utilizzando i dati della spedizione del 2016, al modello digitale del terreno.

In particolare le mappe sono state trasformate in immagini ad 1 bit con valore di "background" pari ad 1 così da ottenere la trasparenza e rendere visibile anche tutti gli altri livelli presenti nel sistema informativo utilizzato per la creazione delle mappe.

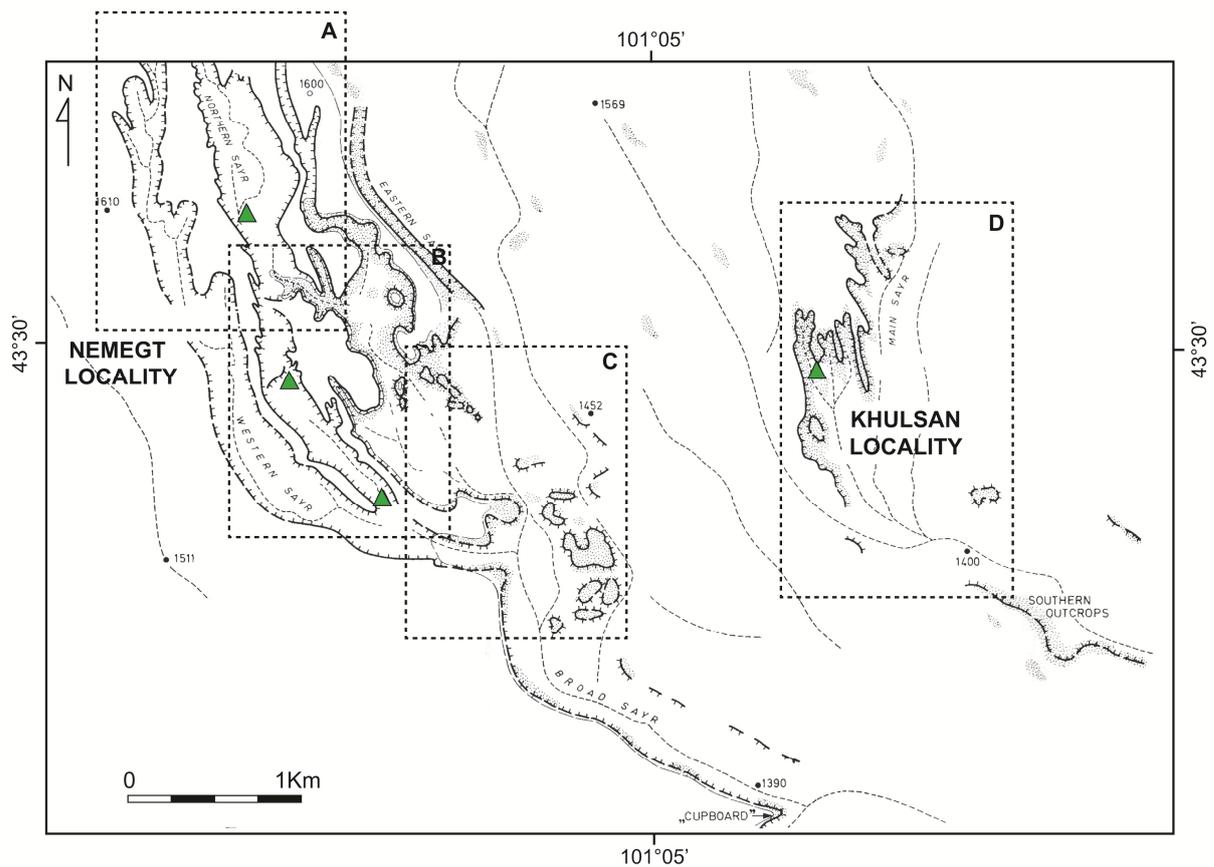


Fig. 35 – Mappa semplificata delle località Nemegt e Khulsan (modificata da: Gradzinski and Jerzikiewicz, 1974a) in cui viene mostrata la suddivisione delle mappe che verrà presentata di seguito, (Fanti et al., 2017)

Nella figura sovrastante è mostrata la suddivisione dei fogli seguita da Gradzinski e i suoi colleghi e che è stata mantenuta in questa tesi.

Di seguito sono riportate le mappe topografiche così suddivise, con i relativi profili altimetrici (esagerazione verticale) ricavati attraverso i Tool "3D Analyst" in modo da avere una percezione tridimensionale migliore.

È stato costruito un database di riferimento su ArcMap, i layer mostrati nell'immagine sottostante sono quelli utilizzati per tutte le mappe topografiche:

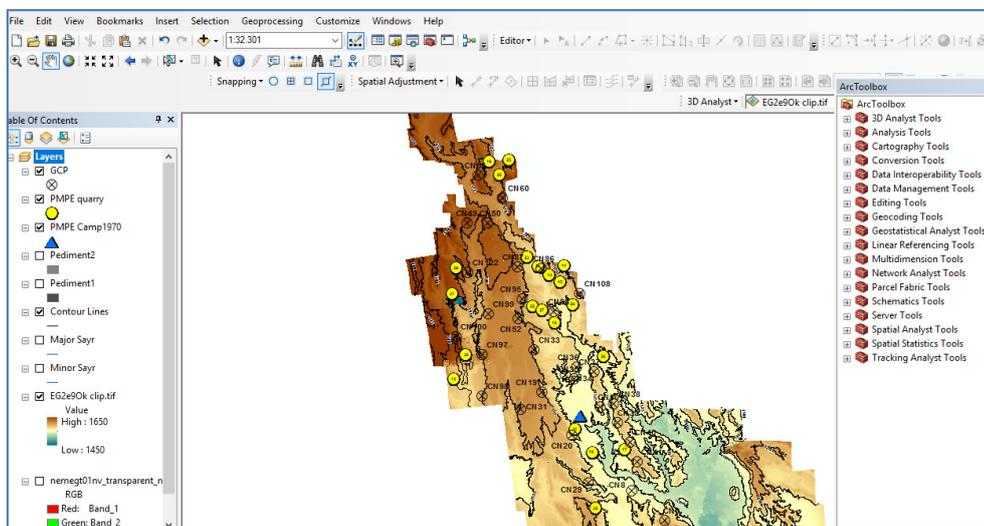


Fig. 36 – Progetto di ArcMap, viene preso come esempio quello della località Nemegt.

8.1 Khulsan (D)

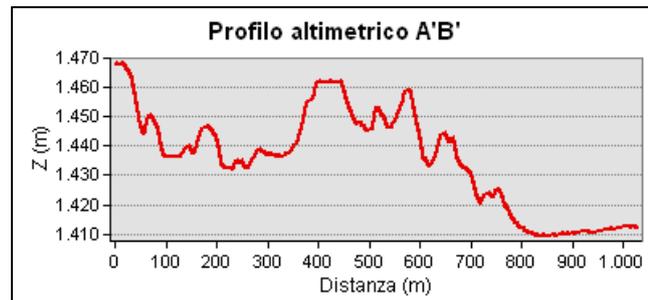
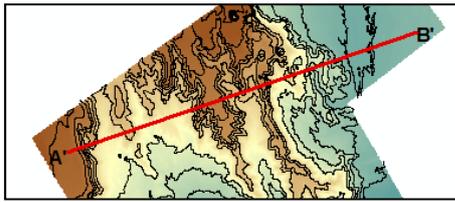
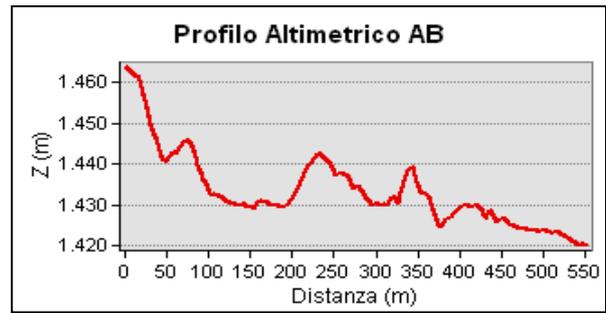
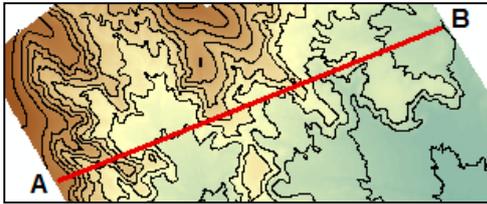


Fig. 37 – Foto panoramica scattata nella località di Khulsan durante l'estate 2016 dal punto CK47 visibile nella mappa sottostante.

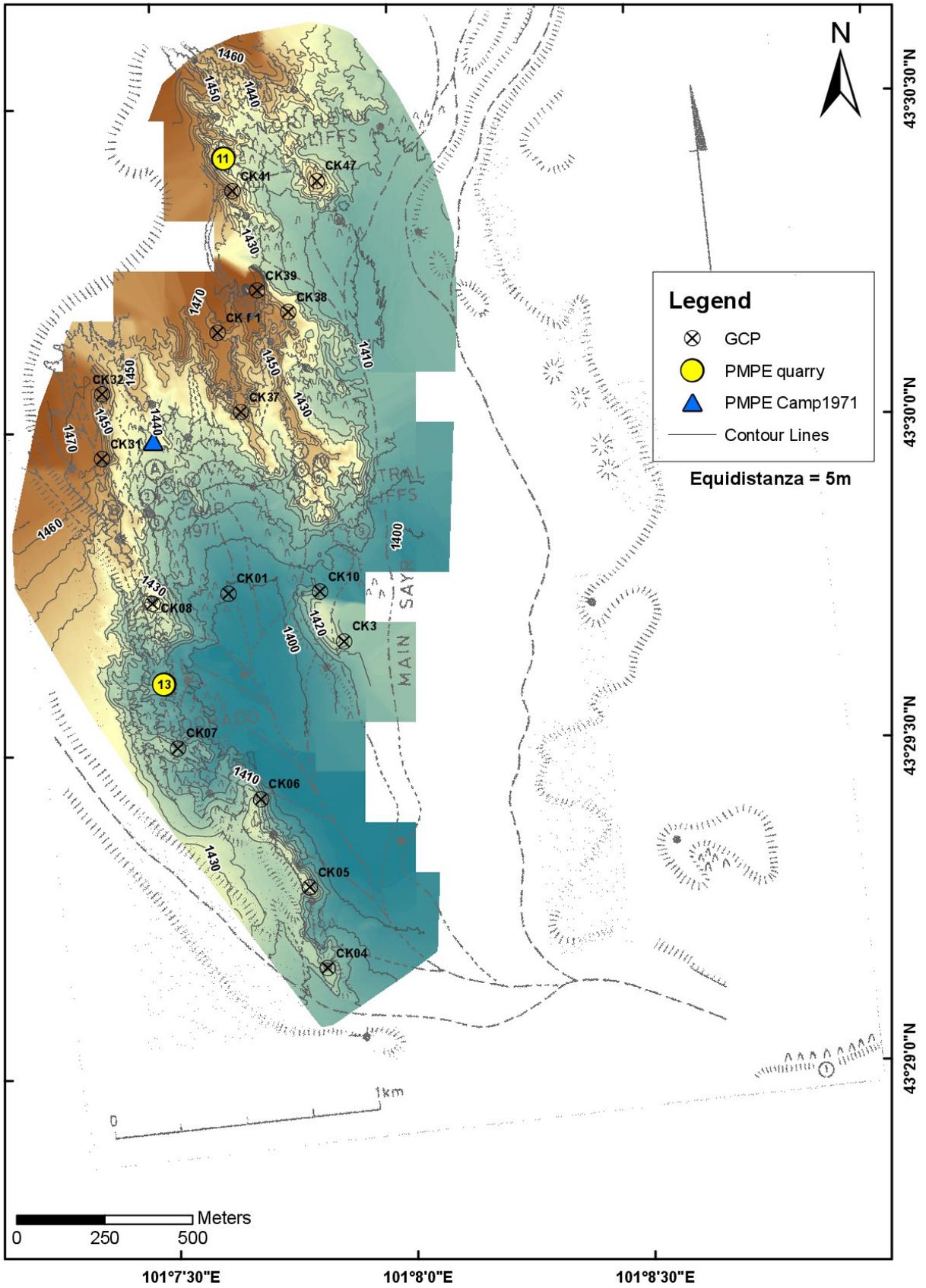


Fig.38 - Carta topografica di Khulsan, (Fanti et al., 2017).

8.2 Northern Nemegt (A)

Le quote in quest'area sono comprese circa tra 1480 e 1630 m.s.l.m.

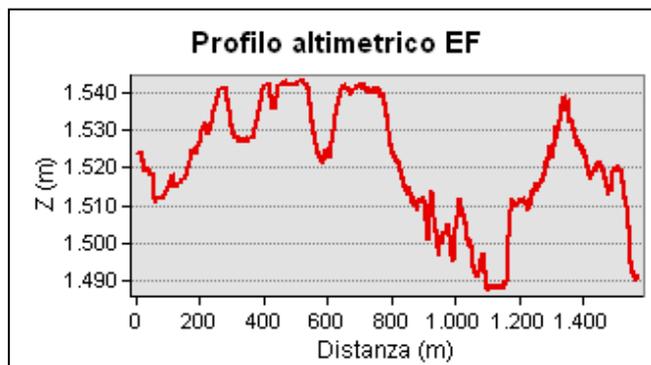
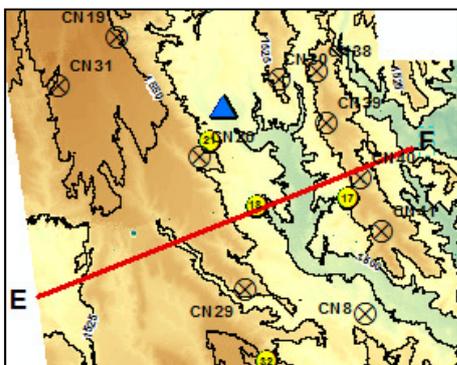
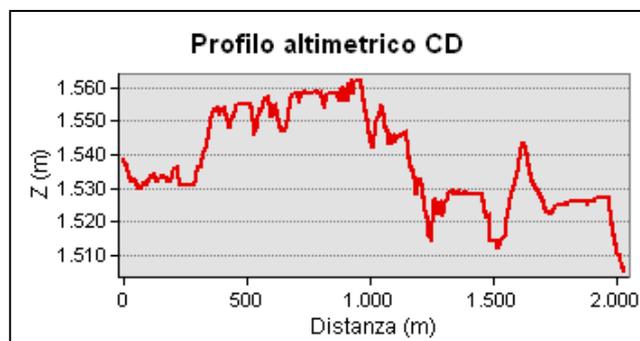
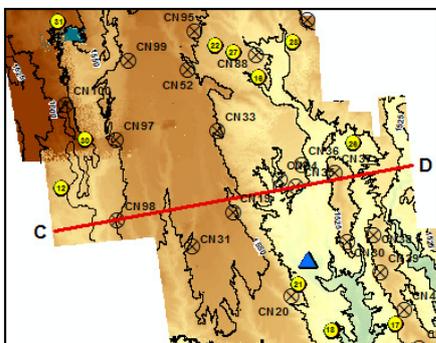
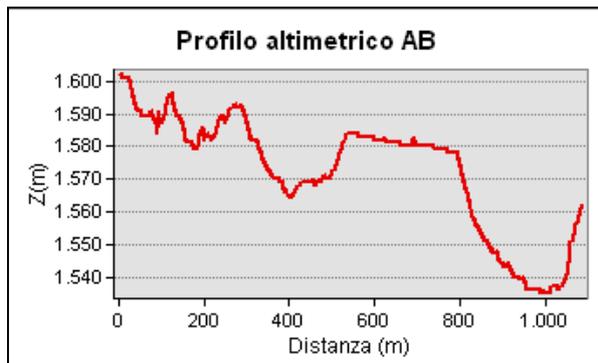
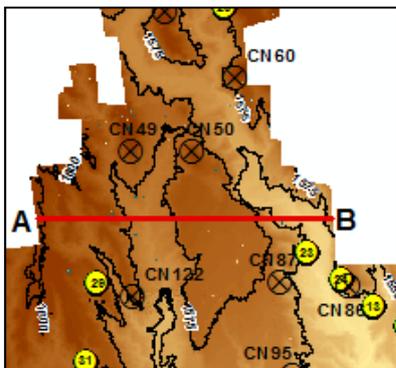


Fig. 39 – Foto panoramica scattata nella zona del Northern Nemegt durante l'estate 2016 dal punto CN87 visibile nella mappa sottostante.

8.3 Central Nemegt (B)

La carta del Central Nemegt è quella dove la sovrapposizione dei punti risulta meno ottimale, cosa che si può notare in particolar modo lungo la scarpata del *Red Walls*. In generale tutta la fascia orientale ha una minore precisione rispetto alla fascia occidentale.

Le quote in quest'area sono comprese tra 1460 e 1580 m.s.l.m.

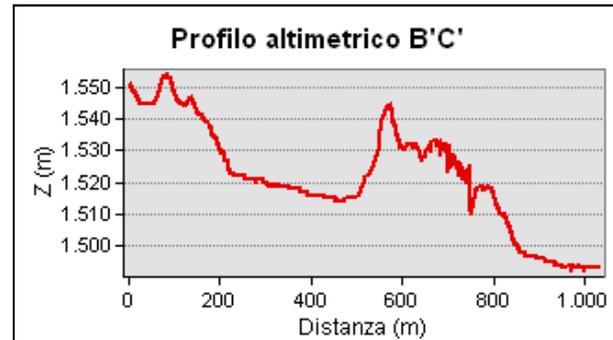
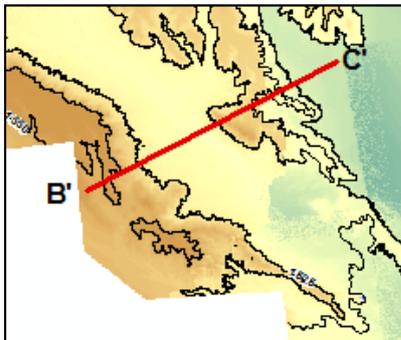
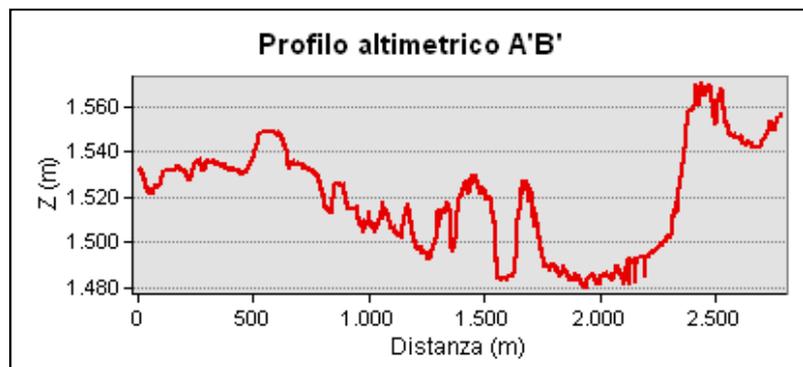
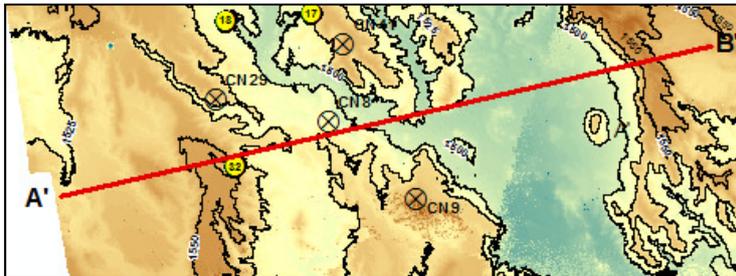


Fig. 41 – Foto panoramica della zona del Central Nemegt scattata durante l'estate 2016.



Fig.42 – Foto panoramica della zona del Southern Nemegt scattata durante l'estate 2016 dal CN118.

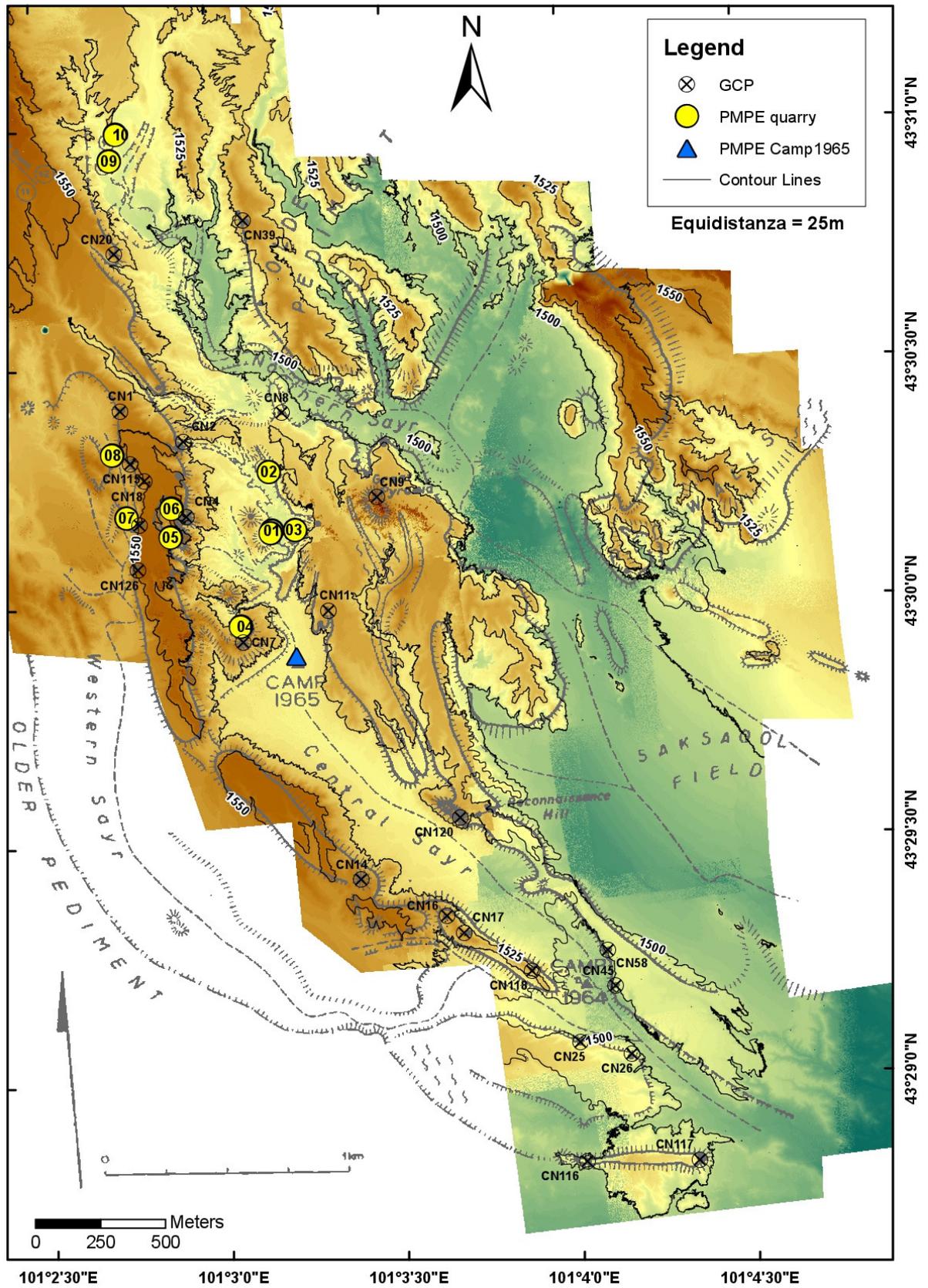


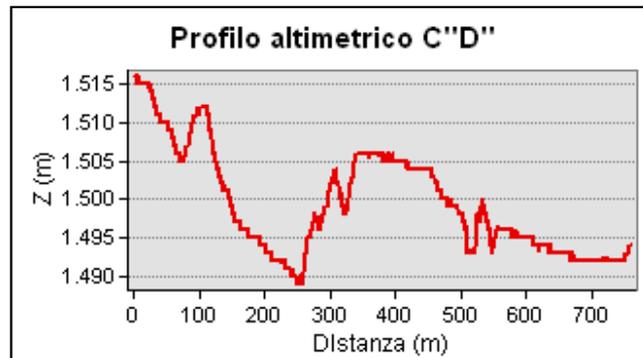
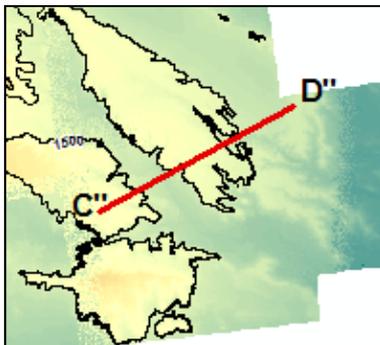
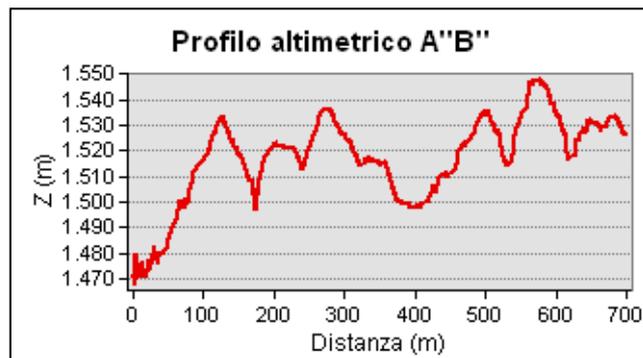
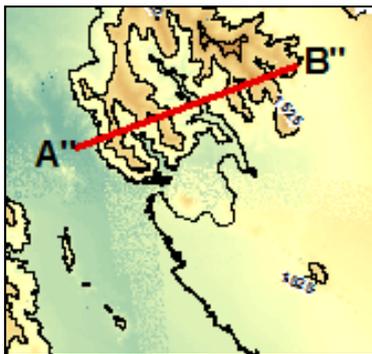
Fig. 43 - Carta topografica del Central Nemegt (Fanti et al., 2017)

8.4 Southern Nemegt (C)

In questa zona il rilievo svolto durante la spedizione del 2016, non ha coperto tutta l'area rappresentata sulla carta del 1972, ma di seguito vengono presentati comunque i dati relativi alla fascia occidentale e meridionale del Southern Nemegt.

Si può notare dalla sovrapposizione delle mappe che il Red Walls da questo lavoro risulta morfologicamente più articolato e nella zona del *Western Sayr* non c'è corrispondenza con i nostri dati.

Qui le quote sono comprese tra 1450 e 1550 m.s.l.m.



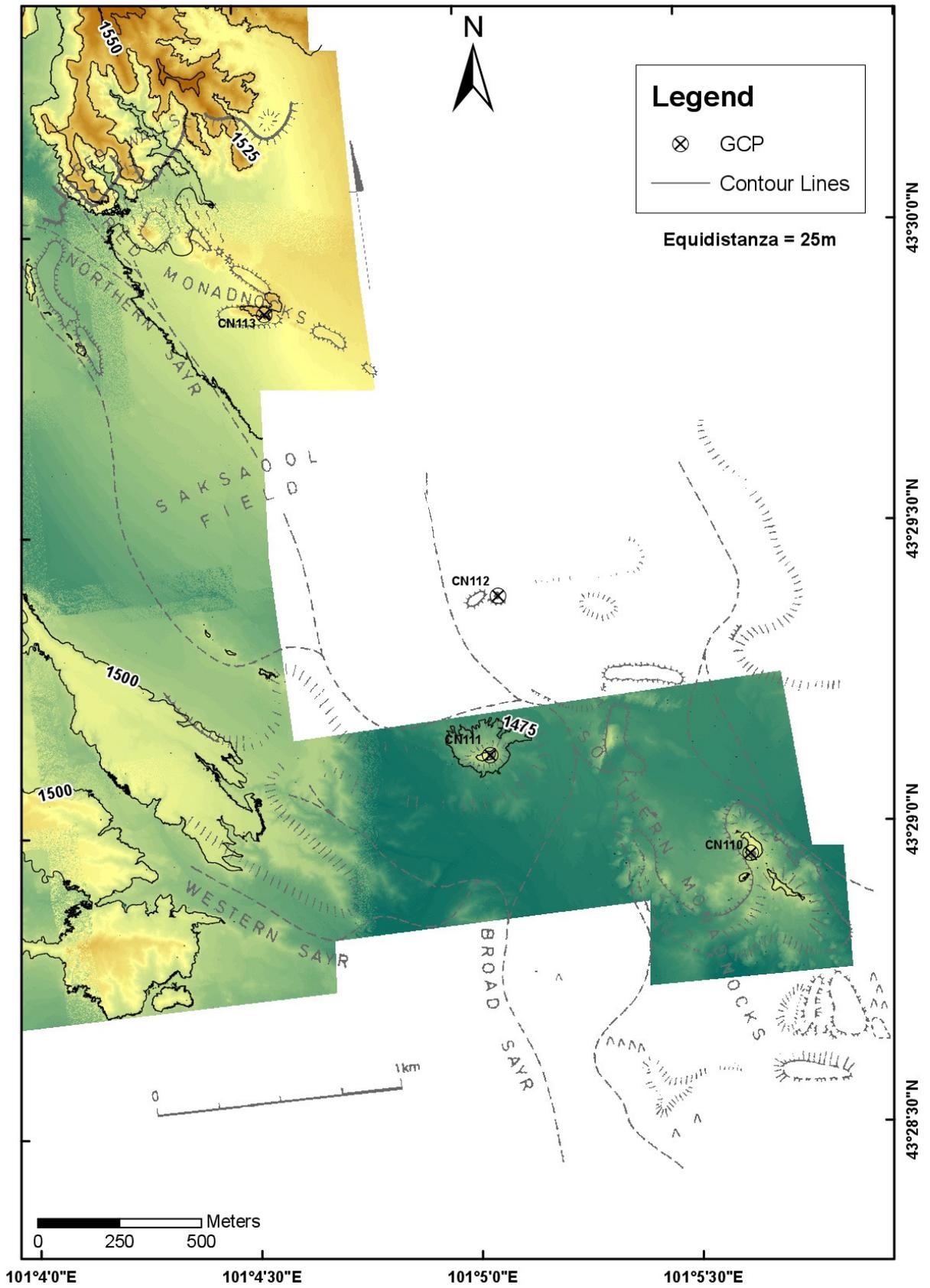


Fig.44 - Carta topografica del Southern Nemegt, (Fanti et al., 2017).

8.5 Altan Uul III

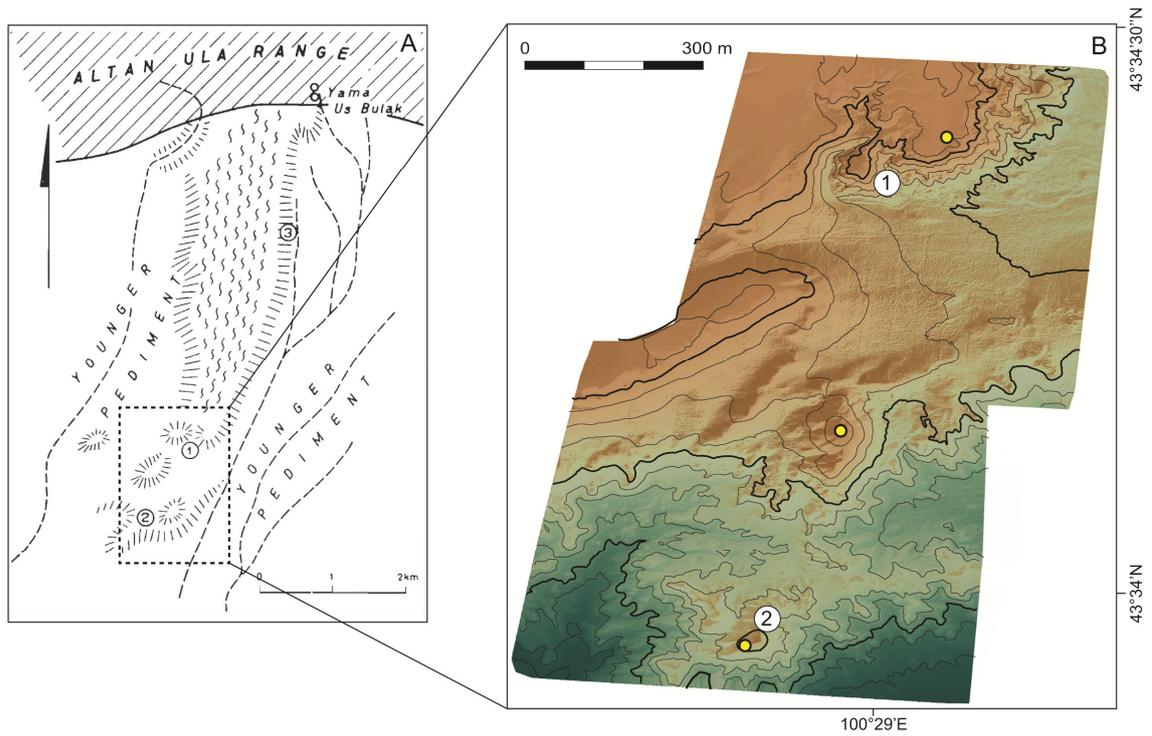


Fig.45 –A: Mappa di Altan Uul III, (Gradzinski et al., 1968), **B:** Nuova mappa topografica in cui i simboli gialli rappresentano i GCP e i numeri rappresentano gli scavi storici.

8.6 Tsagaan Khushuu

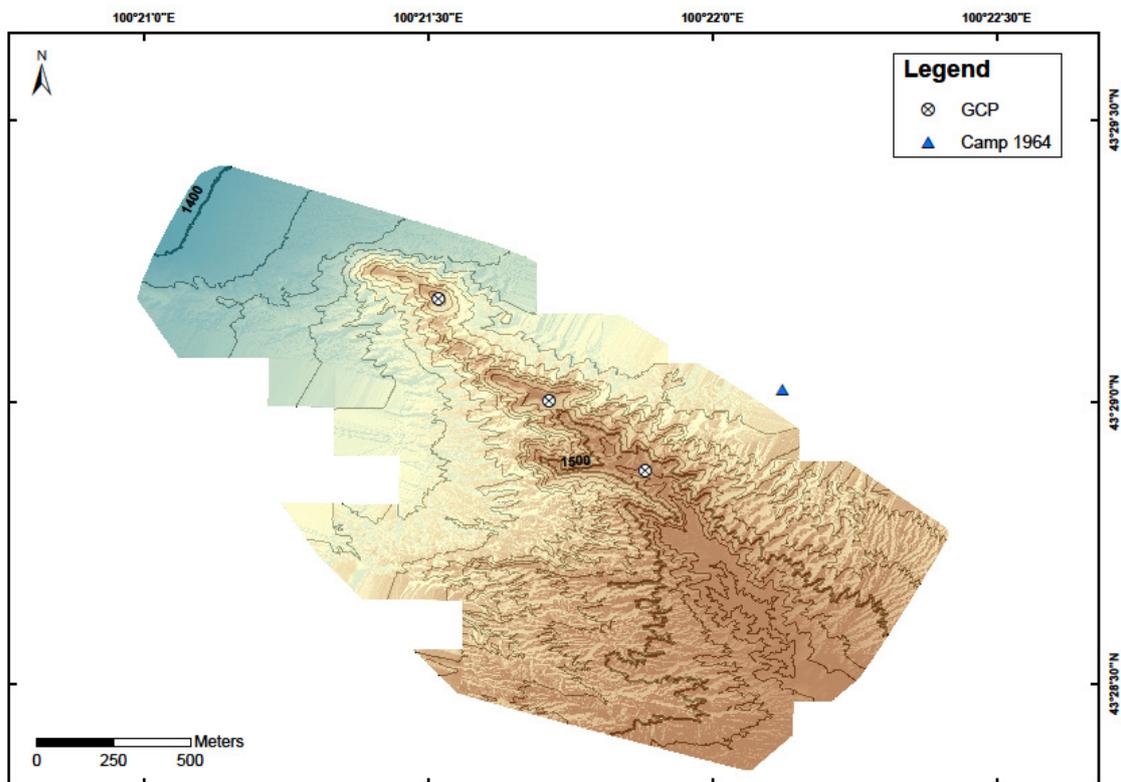


Fig.46 – Carta topografica di Tsagaan Khushuu.

9 Carta geologica

La prima mappa geologica dell'intero territorio è stata pubblicata nel 1957 (general editor: Academician V.A.Obruchev) seguita dalla seconda e terza versione dall'USSR nel 1967 e 1971 (general editor: Dr.N.A.Marinov).

In seguito sono state pubblicate diverse mappe geologiche, a diverse scale, come quella dell'*Institute of Geology and Mineral Resources of the Mongolian Academy of Sciences* (1997-1998), che rappresenta un lavoro scientifico sintetico in cui viene presentata la struttura geologica generale della Mongolia, o come la "*Geological Map of Western Mongolia*" del 1990, a cura dell'istituto russo "BNIIZarubejgeologiya" e la "*Geological Map of Central and Eastern Mongolia*", a cura del *Research and Commercial Institute of Geology and Mining*.

In questa tesi vengono quindi ricostruite le carte geologiche maggiormente accurate sulle località di interesse.

Per la creazione della carta geologica, sia per la località Khulsan che per la località Nemegt sono stati integrati i dati di letteratura, i dati di campagna raccolti durante la spedizione del 2016 e le analisi dei modelli ottenuti dal *processing* di *Pix4D* mediante fotointerpretazione.

In un primo momento è stata condotta l'analisi spettrale di un'immagine Landsat che comprende entrambe le località, utilizzando il software ENVI 4.7.

Successivamente, le ortofoto ad alta risoluzione ottenute con *Pix4D mapper* sono state utilizzate per l'analisi d'immagine seguendo lo stesso procedimento ma basandosi unicamente sull'analisi del colore.

9.1 Analisi spettrale

L'analisi spettrale di immagini ad alta risoluzione costituisce un'importante fonte informativa che può essere utilizzata in diversi campi grazie anche alla possibilità di distinguere dettagli con una precisione di pochi metri. La qualità e la quantità di informazioni ricavabili in questo modo dipende comunque da un corretto processo di elaborazione dell'immagine e da una corretta interpretazione dei dati ottenuti.

Immagine Landsat 8

Data di acquisizione: 17/03/2017

Composizione RGB: 4,3,2

L'immagine scaricata dal sito *USGS Earth Explorer* è stata opportunamente ritagliata in modo da comprendere solo le località Khulsan e Nemegt e diminuire così il numero di informazioni presenti.

Per la classificazione delle diverse coperture sono state definite quattro "*Region of Interest*" e per la definizione di queste aree campione, è stato utilizzato il "*Cursor Locator*" in modo da avere un controllo continuo sui valori dei pixel.

- *Pediment* = rosso
- Fm. Baruungoyot = verde
- Fm. Nemegt = giallo
- *Sayr* = blu

La scelta di non distinguere *Older* e *Younger Pediment* deriva dal fatto che i valori dei pixel relativi allo *Younger Pediment* sono molto vicini ai valori delle classi che rappresentano le altre coperture presenti. Per questo motivo è stata data la priorità alla discriminazione delle successioni affioranti non prendendo però in considerazione l'intervallo di *Interfingering* che avrebbe complicato ulteriormente la differenziazione.

Per una corretta analisi, le ROI devono essere distribuite in modo omogeneo su tutta l'area e devono avere dimensioni simili così da aver un numero analogo di pixel campionati alla fine del processo.

Definite le *Region of Interest*, è necessario controllare se i valori di risposta spettrale dei pixel siano sufficientemente diversi ai fini di una buona classificazione.

Per determinare la separabilità delle ROI viene quindi calcolato l'indice di Jeffries-Matusita, (Dessena e Melis, 2006):

Input File: Resize

ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Pediment [Red] 64 points:

Fm. Baruungoyot [Green] 38 points: (1.99999257 2.00000000)

Fm. Nemegt [Yellow] 22 points: (1.99717944 2.00000000)

Sayr [Blue] 72 points: (1.99531747 2.00000000)

Fm. Baruungoyot [Green] 38 points:

Pediment [Red] 64 points: (1.99999257 2.00000000)

Fm. Nemegt [Yellow] 22 points: (1.99423867 1.99985999)

Sayr [Blue] 72 points: (1.99997222 2.00000000)

Fm. Nemegt [Yellow] 22 points:

Pediment [Red] 64 points: (1.99717944 2.00000000)

Fm. Baruungoyot [Green] 38 points: (1.99423867 1.99985999)

Sayr [Blue] 72 points: (1.97702168 1.99999986)

Sayr [Blue] 72 points:

Pediment [Red] 64 points: (1.99531747 2.00000000)

Fm. Baruungoyot [Green] 38 points: (1.99997222 2.00000000)

Fm. Nemegt [Yellow] 22 points: (1.97702168 1.99999986)

Pair Separation (least to most);

*Fm. Nemegt [Yellow] 22 points and Sayr [Blue] 72 points - **1.97702168***

*Fm. Baruungoyot [Green] 38 points and Fm. Nemegt [Yellow] 22 points - **1.99423867***

*Pediment [Red] 64 points and Sayr [Blue] 72 points - **1.99531747***

*Pediment [Red] 64 points and Fm. Nemegt [Yellow] 22 points - **1.99717944***

*Fm. Baruungoyot [Green] 38 points and Sayr [Blue] 72 points - **1.99997222***

*Pediment [Red] 64 points and Fm. Baruungoyot [Green] 38 points - **1.99999257***

Come si può notare, i numeri rispecchiano tutti il valore ritenuto accettabile per una buona classificazione infatti sono tutti compresi nell'intervallo 1.9-2.

Un'ulteriore verifica della distribuzione delle classi all'interno dell'immagine può essere svolta andando ad analizzare gli *Scatter Plot* combinando i parametri delle bande R, G, B, in modo da verificare graficamente la separabilità tra le classi e individuare le zone di sovrapposizione di pixel simili ma appartenenti in realtà a classi diverse.

Importando le ROI all'interno dei diversi *Scatter Plot* si può notare come tutte le classi si distribuiscano in aree diverse del grafico. Infatti ci sono solo delle piccolissime zone dove l'andamento delle ROI si sovrappone.

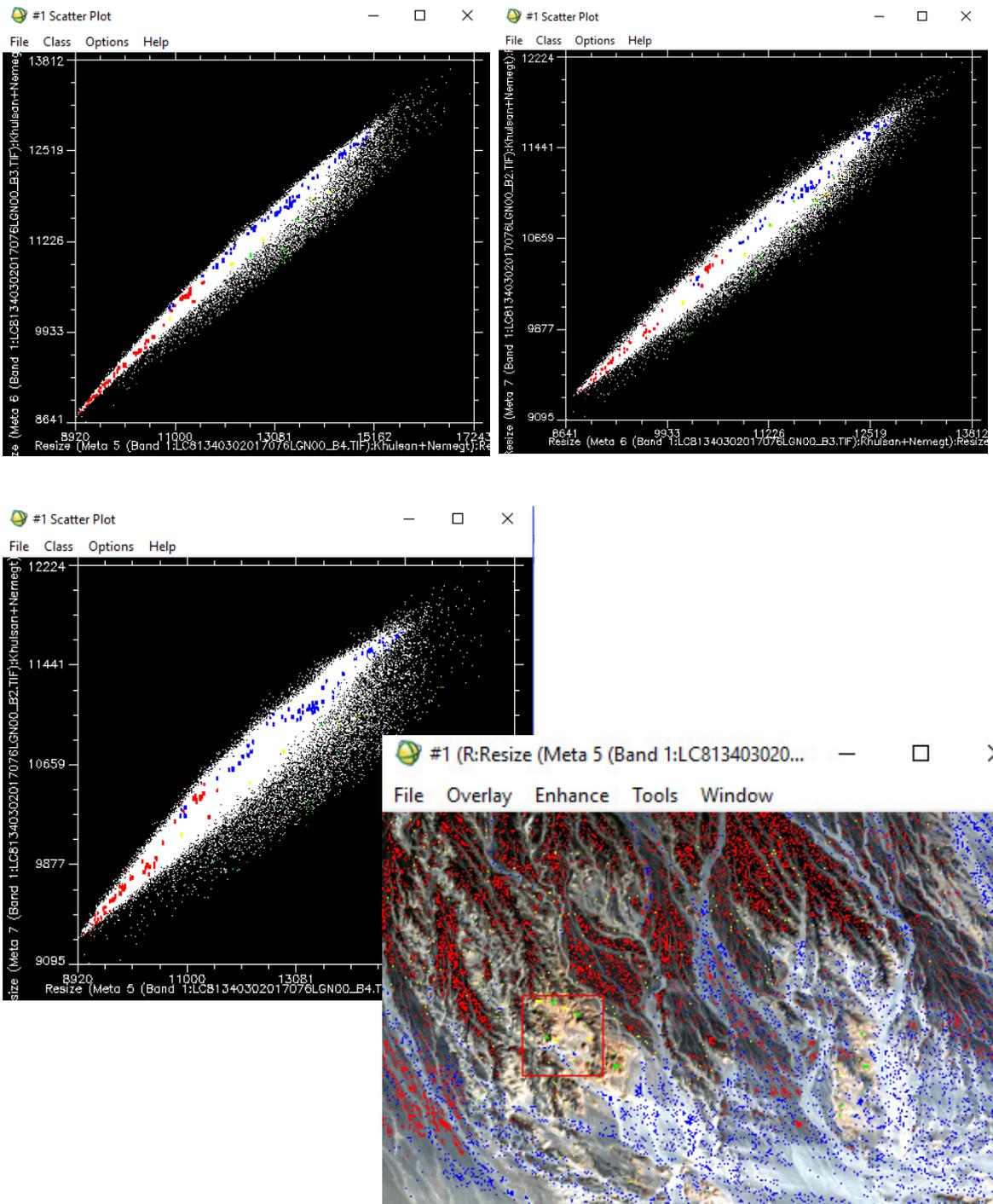


Fig. 47 – A: Scatter Plot con B4 sull’asse x e B3 sull’asse y; **B:** Scatter plot con B3 sull’asse x e B2 sull’asse y; **C:** Scatter Plot con B4 sull’asse x e B2 sull’asse y; **D:** Distribuzione delle classi utilizzate all’interno dell’immagine Landsat 8.

Terminata la parte di fotointerpretazione si passa alla classificazione vera e propria dell’immagine che può essere svolta in diversi modi e con l’utilizzo di diversi algoritmi.

La prima distinzione è tra classificazione supervisionata o non supervisionata.

I metodi non supervisionati non richiedono la fase preliminare di acquisizione dei pixel di training: la classificazione opera una suddivisione dello spazio in un certo numero di classi spettrali in base alla similarità della loro firma spettrale senza richiedere il contributo di informazioni aggiuntive a priori.

In questo lavoro la classificazione non supervisionata non è stata presa in considerazione perché la procedura supervisionata, se opportunamente supportata da una scelta accurata delle *Region of Interest*, fornisce risultati più attendibili.

Nella tabella sottostante vengono riportati i valori relativi alle diverse classificazioni utilizzate. Per considerare il risultato attendibile, la percentuale di accuratezza dovrebbe essere maggiore del 90% e il coefficiente K superiore a 0.9.

| | Minimum Distance | Parallelepiped | Mahalanobis Distance | Maximum Likelihood |
|----------------------|------------------|----------------|----------------------|--------------------|
| Overall Accuracy (%) | 69 | 60 | 97 | 99 |
| K Coefficient | 0.5878 | 0.4900 | 0.9563 | 0.9928 |

Tab. 10

Dai dati si evince che le classificazioni più attendibili sono la *Mahalanobis Distance* e la *Maximum Likelihood*.

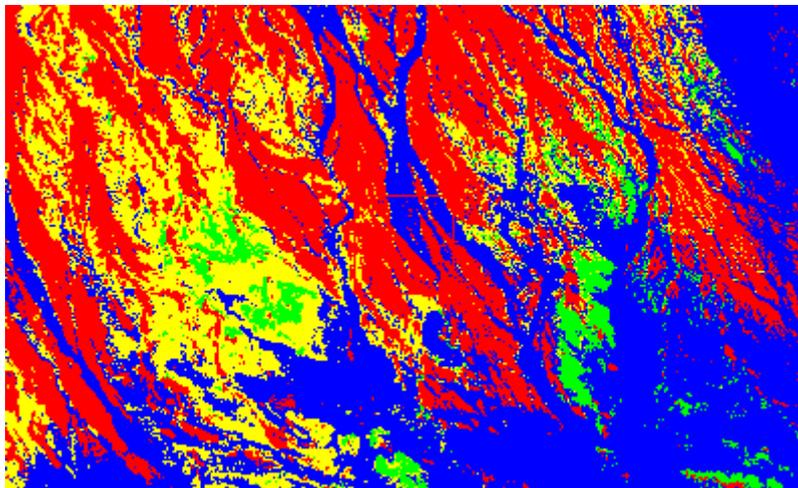


Fig. 48 – Classificazione supervisionata *Maximum Likelihood* su immagine Landsat 8.

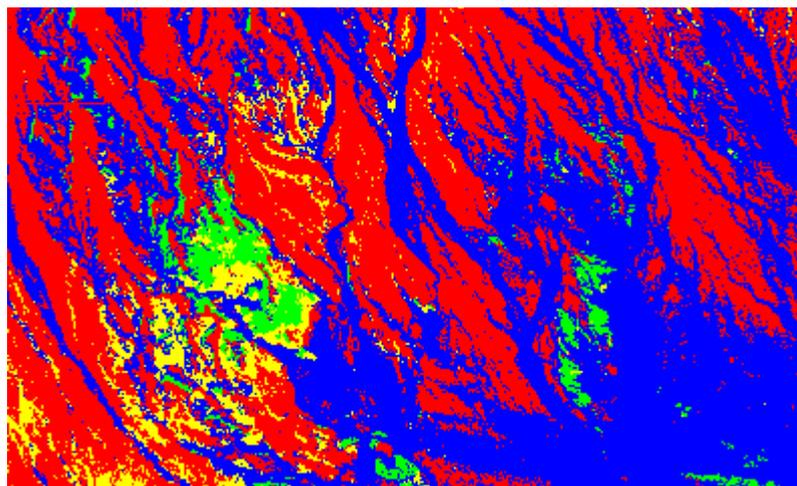


Fig. 49 – Classificazione supervisionata *Mahalanobis Distance* su immagine Landsat 8.

Andando ad analizzare i risultati ottenuti, si notano delle importanti differenze tra le due classificazioni. Dalla conoscenza sul campo e dall'analisi fotointerpretativa della zona si conclude che la miglior classificazione, anche se con dati di attendibilità leggermente più bassi, è la *Mahalanobis Distance*.

Questa è una classificazione sensibile alla direzione che assume uguale la covarianza tra le classi, per questo è anche un metodo più veloce. Tutti i pixel vengono classificati nella ROI più vicina a meno che non venga definita una soglia di distanza, nel qual caso potrebbero esserci pixel non classificabili perchè non soddisfano tale soglia, (Richards J.A., 1999).

In figura 48 si può notare come l'algoritmo utilizzato abbia classificato vaste porzioni dell'immagine come Fm. Nemegt ma in realtà spesso si tratta di *sayr* o di zone di *pediment* (probabilmente *Younger*). Ci sono inoltre delle aree nei pressi della località Khulsan classificate sempre come Fm. Nemegt ma dalla conoscenza sul campo e dai dati di letteratura sappiamo che nella località Khulsan questa non affiora.

La carta geologica ottenuta dall'analisi spettrale è solamente una mappa speditiva in cui poter individuare la distribuzione generale delle coperture presenti. Può essere considerata una carta geologica a piccola scala dove sono comunque presenti dei piccoli errori, soprattutto nella porzione a S-E che è stata interamente classificata come "sayr".

9.2 Analisi di ortofoto

Per la costruzione della carta geologica più dettagliata, le località Khulsan e Nemegt sono state prese in considerazione separatamente e per l'analisi sono state utilizzate le ortofoto ottenute con *Pix4D* come immagini TIFF in RGB.

La prima parte del lavoro è stata svolta in *ArcMap* individuando e delimitando tutte le zone affioranti. Sono quindi stati creati nuovi shapefile poligonali, mantenendo lo stesso sistema di coordinate del progetto. I limiti degli affioramenti sono stati tracciati a mano tramite un processo di fotointerpretazione, integrato comunque dalla conoscenza sul campo.

Nella località Khulsan, è stato creato uno shapefile singolo considerando la sola presenza della Formazione Baruungoyot.

Nella località Nemegt sono invece state distinte la Formazione Bruungoyot, l'*interfingering* e la Formazione Nemegt.

Anche le zone di drenaggio sono state mappate manualmente creando shapefile lineari.

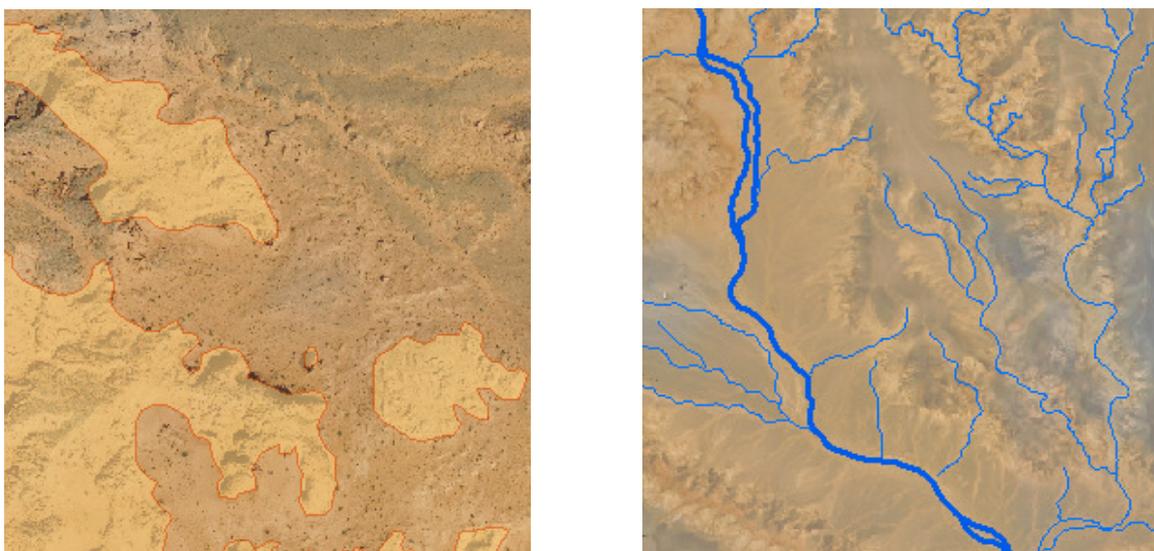


Fig.50 – A sinistra: Esempio di mappatura degli affioramenti nella località Khulsan; A destra: Esempio di mappatura dei Sayr nella località Nemegt.

Per Khulsan è stato creato un unico shapefile lineare definito genericamente come “sayr”; Nella località Nemegt sono stati distinti i *Major Sayr* con un tratto più spesso e i *Minor Sayr* con un tratto più sottile.

Questo perché l’area del Nemegt è molto più grande e presenta quindi un sistema di drenaggio molto più ampio, con numerosi *sayr* secondari. Mappando tutti questi con la stessa modalità alla scala di questo lavoro la carta diventa illeggibile.

Considerando che per ottenere un maggior dettaglio i *sayr* e le zone afforanti sono stati individuati a priori manualmente, le uniche due macro aree che devono essere distinte in ENVI 4.7 sono:

- *Older Pediment*
- *Younger Pediment*



Fig.51 – Esempio di definizione delle ROI nella porzione occidentale di Khulsan. In verde l’*Older Pediment* e in giallo lo *Younger Pediment*.

9.2.1 Carta geologica relativa alla località Khulsan

L’ortofoto di Khulsan, è stata esportata come immagine TIFF, in modo da essere leggibile nel software ENVI.

Di seguito sono riportati i valori di separabilità delle ROI:

Input File: KhulsanSubset

ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Pediment1 [Green] 659 points:

Pediment2 [Yellow] 468 points: (1.50206985 1.97232502)

Pediment2 [Yellow] 468 points:

Pediment1 [Green] 659 points: (1.50206985 1.97232502)

Pair Separation (least to most);

Pediment1 [Green] 659 points and Pediment2 [Yellow] 468 points - 1.50206985

I valori statistici significativi relativi alle *Region of Interest* non rientrano perfettamente nei parametri ritenuti accettabili in quanto non presentano una separabilità netta.

In questo caso infatti non possiamo aspettarci dei valori di separabilità elevati perché l'analisi è condotta esclusivamente sul colore dei diversi pixel i cui valori possono essere influenzati da vari fattori.

Si è scelto quindi di continuare comunque con la classificazione considerando che gli errori presenti saranno successivamente analizzati e corretti manualmente.

Per tutte le classificazioni è stata utilizzata una "*Mask Band*" importando lo shapefile vettoriale degli affioramenti costruito in *ArcMap* e inserendolo nelle opzioni dell'algoritmo come gruppo di pixel da non classificare.

Di seguito si riportano i risultati della classificazione supervisionata con le diverse metodologie:

| | Minimum Distance | Parallelepiped | Mahalanobis Distance | Maximum Likelihood |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Overall Accuracy (%) | 95 | 75 | 96 | 96 |
| K Coefficient | 0.9290 | 0.6507 | 0.9451 | 0.9230 |

Tab. 11

Dalle verifiche fatte e dai risultati ottenuti si evince che la classificazione supervisionata *Parallelepiped* è meno precisa e presenta numerosi pixel confusi tra le due classi di riferimento o non classificati.

Le migliori classificazioni sono la *Mahalanobis Distance* e la *Maximum Likelihood* entrambe con il 96 % dei pixel totali classificati correttamente.

In particolare con la *Mahalanobis Distance* si ottiene anche un coefficient K leggermente più elevato. Integrando questi risultati con la conoscenza sul campo è stata scelta la Classificazione supervisionata *Mahalanobis Distance*.

L'immagine a sinistra mostra il risultato della classificazione *Mahalanobis Distance*.

I poligoni bianchi corrispondono alle aree definite dai file vettoriali importati da *ArcMap* e utilizzati come maschera di esclusione per il calcolo.

Il verde rappresenta l'*Older Pediment* e il giallo lo *Younger Pediment*.

Nell'immagine in basso, a sinistra si possono osservare le zone affioranti utilizzate come maschera e visualizzate tramite l'ortofoto. A destra viene mostrato il dettaglio di una zona di affioramento a Nord di Khulsan.

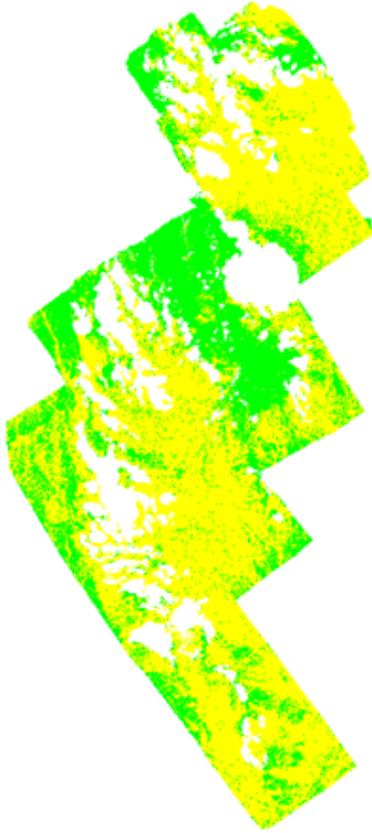
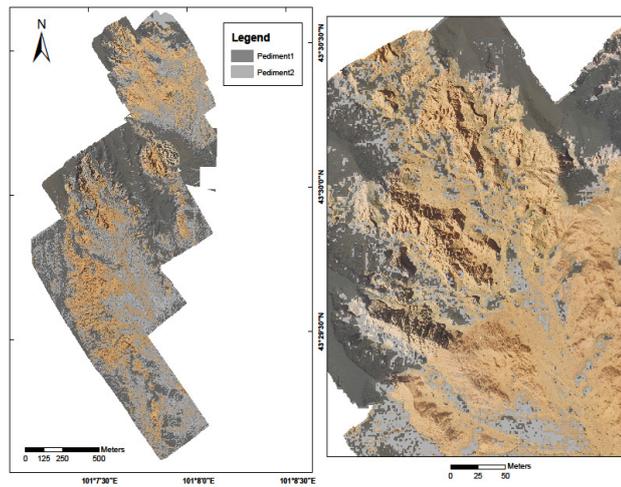


Fig.52



Terminata l'analisi in ENVI le porzioni classificate sono state convertite in vettori con estensione "evf" e successivamente in shapefile da trasferire nuovamente all'interno del software *ArcMap*.

Essendo un'analisi basata sui pixel dell'immagine la trasformazione in shapefile converte tutto in poligoni. In alcune aree è stato necessario correggere i limiti di questi poligoni attraverso gli strumenti di *Editing* per accorpare aree di dimensioni molto piccole o per correggere totalmente zone che in base alla conoscenza del territorio non rispecchiavano la copertura reale.

Per la costruzione della carta geologica finale sono stati sovrapposti al modello digitale del terreno i layer relativi alla Fm. Baruungoyot, i *sayr*, l'*Older Pediment* e lo *Younger Pediment*, tutti con trasparenza del 40% così da rendere visibile la morfologia del terreno.

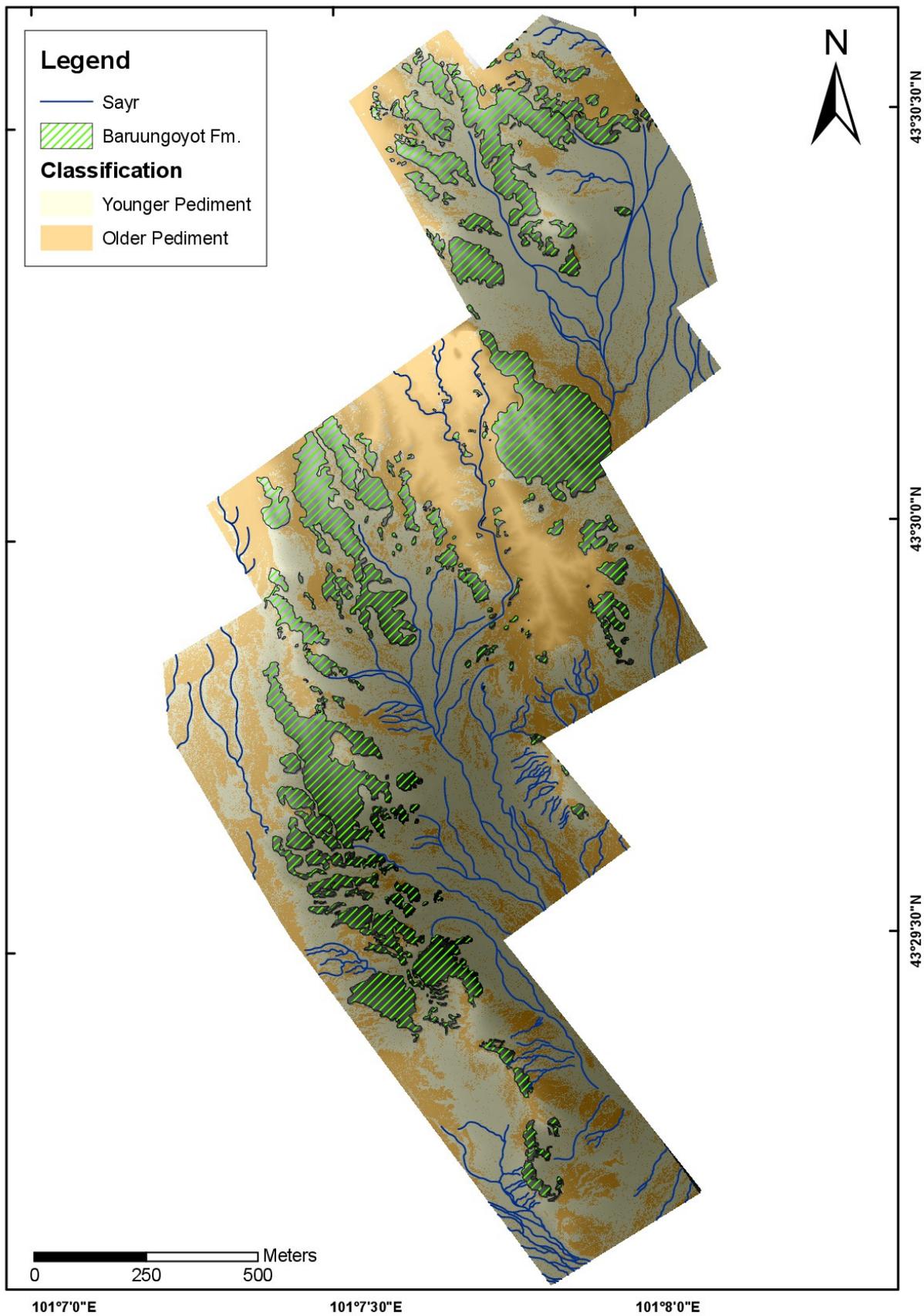


Fig. 53 - Carta geologica della località Khulsan, (Fanti et al., 2017).

9.2.2 Carta geologica relativa alla località Nemegt

La cartografia geologica della località Nemegt è stata costruita svolgendo gli stessi step eseguiti per la località Khulsan ma con difficoltà maggiore data la dimensione dell'area.

Anche per il Nemegt sono state utilizzate due *Region of Interest* attraverso la definizione di gruppi di pixel sull'immagine.

In questo caso è stato utile aumentare il numero di campioni sull'immagine rispetto al caso di Khulsan e con una copertura più fitta.

Di seguito sono riportati i valori di separabilità delle ROI per la località Nemegt:

Input File: NemegtResize

ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Younger Pediment [Red] 872 points:

Older Pediment [Green] 388 points: (1.31884957 1.57175235)

Older Pediment [Green] 388 points:

Younger Pediment [Red] 872 points: (1.31884957 1.57175235)

Pair Separation (least to most);

Younger Pediment [Red] 872 points and Older Pediment [Green] 388 points - 1.31884957

I valori statistici in questo caso sono molto più bassi del valore ritenuto accettabile infatti c'è una differenza di circa 0.58 che è sicuramente importante ai fini dell'analisi.

L'ortofoto del Nemegt è molto più articolata rispetto al caso di Khulsan, presenta infatti una variabilità molto più elevata nella risposta dei pixel e soprattutto presenta alcuni errori in corrispondenza delle zone di unione dei gruppi di foto scattate in giorni diversi.

Proseguendo comunque con l'analisi e classificando l'immagine anche non avendo un'ottima separabilità si ottengono i seguenti risultati:

| | Minimum Distance | Parallelepiped | Mahalanobis Distance | Maximum Likelihood |
|----------------------|------------------|----------------|----------------------|--------------------|
| Overall Accuracy (%) | 90 | 87 | 86 | 88 |
| K Coefficient | 0.8668 | 0.6950 | 0.8125 | 0.8995 |

Tab. 12

È stata utilizzata anche in questo caso una "Mask Band" per le zone affioranti così da semplificare il calcolo.

Dai valori di post-classificazione si evince che la classificazione più attendibile è la *Minimum Distance*. Si noti come tutti i valori sono più bassi rispetto al caso di Khulsan, proprio perchè si parte da dati di input con un errore associato maggiore.

La scelta di proseguire comunque nell'analisi è dovuta al fatto che le classi ottenute in ENVI vengono poi convertite e importate in *ArcMap* dove viene svolta una correzione manuale.

In un caso come questo infatti è meglio integrare maggiormente l'analisi spettrale con la conoscenza sul campo o altri tipi di informazioni.

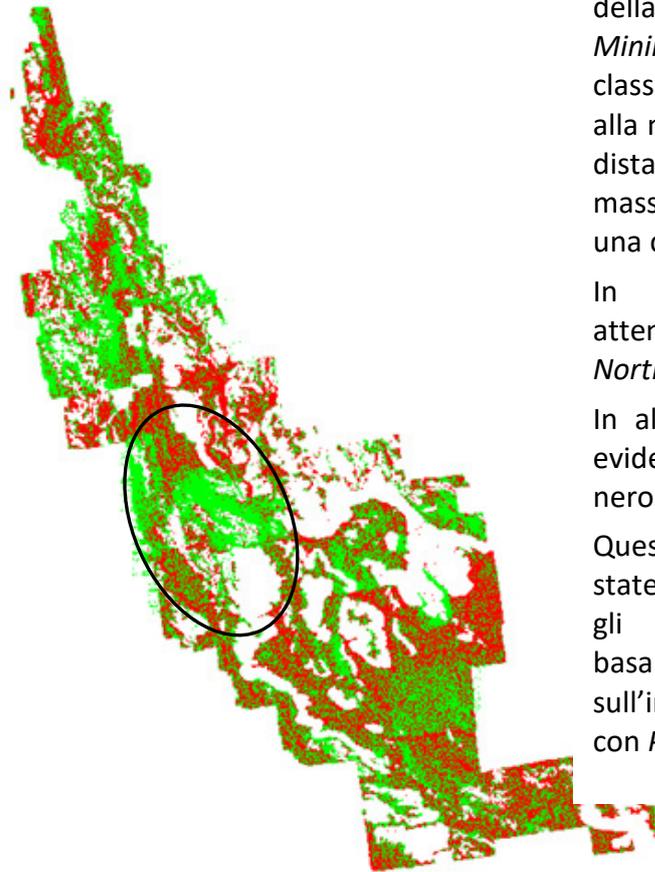


Fig.54

L'immagine a sinistra mostra il risultato della classificazione supervisionata *Minimum Distance*. Con questa classificazione ogni pixel viene assegnato alla media più vicina, in pratica una minore distanza dal valore medio equivale alla massima probabilità di appartenenza ad una classe.

In molte aree la classificazione è attendibile, soprattutto nella zona del *Northern Nemegt* e del *Southern Nemegt*.

In altre zone invece ci sono degli errori evidenti, come si nota nell'area cerchiata in nero.

Queste zone di maggior incertezza sono state successivamente corrette utilizzando gli strumenti di *Editing* in *ArcMap* basandosi sulla conoscenza sul campo e sull'interpretazione dell'immagine ottenuta con *Pix4D*.

Per la costruzione della carta geologica completa le aree affioranti in *ArcMap* sono state suddivise in tre categorie:

- Formazione Baruungoyot
- *Interfingering*
- Formazione Nemegt

Successivamente sono stati aggiunti gli shapefile dell'*Older Pediment* e dello *Younger Pediment*. Come per la mappa dell'area di Khulsan tutto il rilievo è stato sovrapposto al modello digitale del terreno con trasparenza del 40% così da rendere visibile la morfologia.

Infine sono stati aggiunti gli shapefile lineari relativi ai *sayr*, suddivisi in "*Major sayr*" e "*Minor sayr*".

Di seguito viene presentata la carta geologica completa:

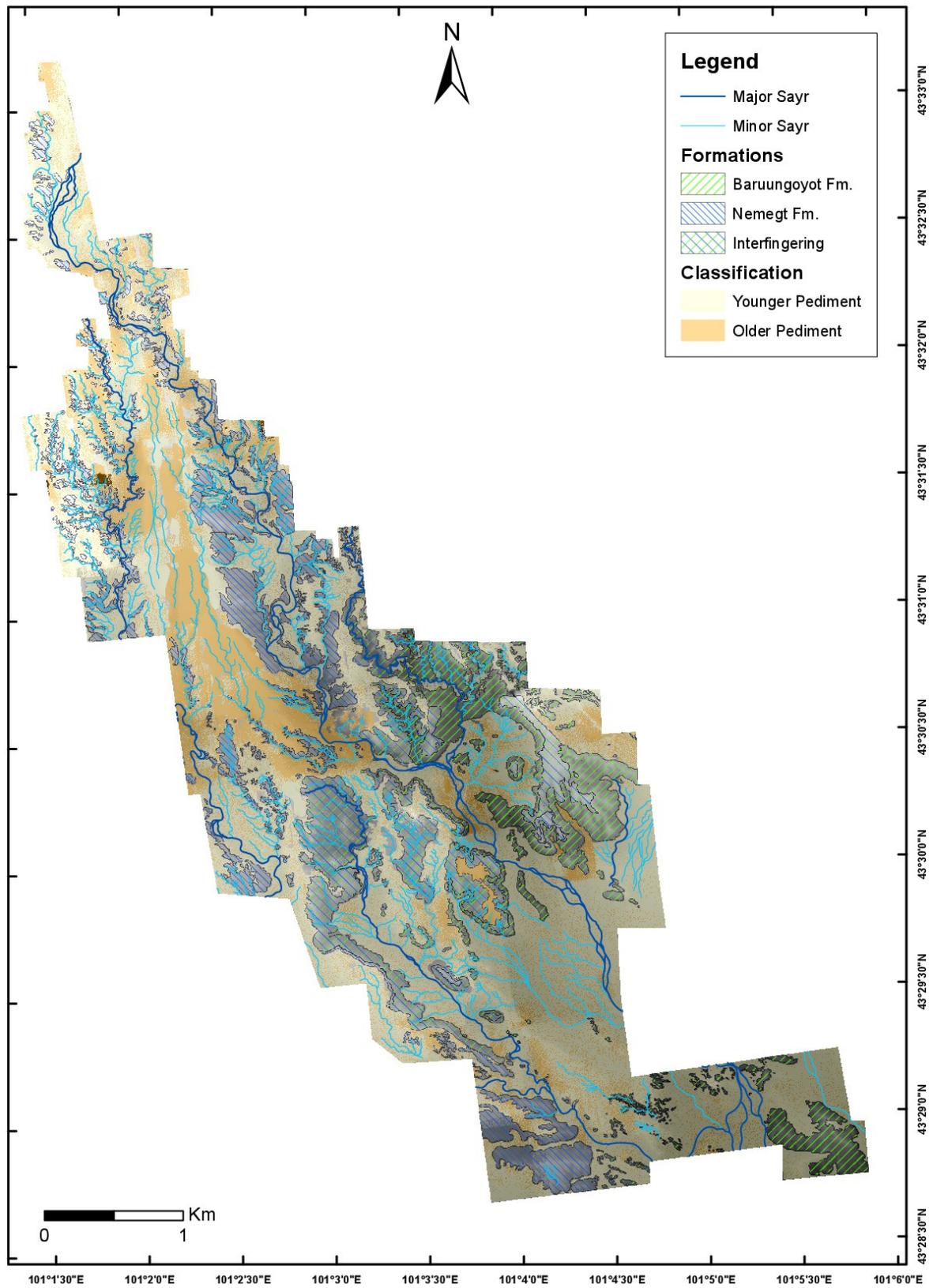


Fig.55 - Carta geologica della località Nemegt (Fanti et al., 2017)

10 Definizione dell'incertezza

Per il calcolo delle incertezze relative ai dati ottenuti da *Pix4D*, sono stati presi in considerazione i valori di diverse tipologie di errore così da avere un'informazione quanto più possibile completa ed attendibile.

Il GSD (*Ground Sampling Distance*) rappresenta la distanza calcolata dal punto centrale di due pixel consecutivi. Maggiore è il valore di GSD, minore sarà la risoluzione dell'immagine e di conseguenza il dettaglio visibile.

Il GSD dipende dalle caratteristiche geometriche della fotocamera (dimensione del sensore e focale impiegata) e dall'altezza del volo, in particolare si ha:

$$\text{dimensione pixel: dimensione oggetto} = \text{focale} : \text{altezza volo (o distanza dall'oggetto)}$$

La dimensione del pixel è definita come il rapporto tra la dimensione del sensore e il n° di pixel contenuti in ogni fotogramma nella stessa dimensione.

La dimensione del sensore non può variare mentre il n° di pixel è variabile.

Da questo si evince che il rapporto tra la dimensione dei pixel e la dimensione dell'oggetto è un valore costante come anche il rapporto tra la focale e l'altezza del volo.

$$\text{Si ottiene quindi: } GSD = \frac{\text{dimensione pixel}}{\text{dimensione oggetto}} = \frac{\text{focale}}{\text{altezza volo}}$$

Se il GSD deve essere costante, vuol dire che anche l'altezza del volo deve essere costante e questa è sicuramente una delle principali cause di errore a causa delle normali asperità del terreno e della presenza di diverse tipologie di ostacoli (manufatti, vegetazione, vento, ecc.).

Il *Mean Reprojection Error* è un errore geometrico che corrisponde alla distanza sull'immagine tra un punto proiettato e lo stesso calcolato. Inizialmente il calcolo dei punti viene individuato sull'immagine (2D keypoint) individuando punti omologhi. Su ogni immagine questi punti hanno una specifica posizione che viene riconosciuta. Quando viene calcolato il punto di presa della camera in 3D la posizione dei punti viene riportata sull'immagine per riproiezione della posizione. Questo perché quando un punto viene computato automaticamente, le coordinate 3D vengono definite utilizzando i parametri interni (lunghezza focale, lenti, ecc.) ed esterni della fotocamera (posizione, orientazione).

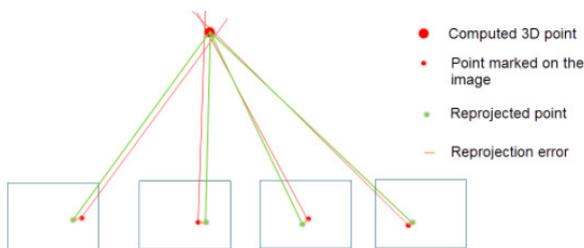


Fig. 56

Quindi il *Mean Reprojection Error* viene utilizzato per calcolare quanto la stima della posizione di un punto X corrisponde alla reale proiezione del punto x.

Detta x^{\wedge} la proiezione sull'immagine di X, l'errore sulla X è dato dalla $d(x, x^{\wedge})$ cioè dalla distanza Euclidea tra i punti dell'immagine x e x^{\wedge} .

La *geolocation orientation variance* rappresenta l'errore di RMS relativo all'orientazione degli angoli dell'immagine, cioè la differenza tra l'orientazione iniziale degli angoli e quella successive alla computazione dei dati. Omega, Phi e Kappa rappresentano l'errore nei tre angoli espresso in gradi.

L'Absolute Geolocation Variance indica il numero di immagini geolocalizzate e calibrate che sono state classificate come inaccurate. Le coordinate di input per queste immagini vengono definite imprecise. In questo caso Pix4Dmapper lavora per cercare la loro posizione corretta.

Il mean rappresenta l'errore medio in ogni direzione:

$$\text{Mean} = \mu = \Sigma(e_i)/N$$

e_i = errore di ogni punti per la direzione data

N = numero di GCP

σ = deviazione standard dell'errore in ogni direzione (x, y, z).

Per il calcolo di sigma in una data direzione si ha:

$$\text{Sigma} = \sigma = \text{sqrt}(\Sigma(e_i - \mu)^2)/N$$

μ = errore medio nella direzione data

L'errore di RMS (Root Mean Square Error) misura la quantità di errore presente tra due set di dati comparando il valore previsto con quello osservato (in ogni direzione):

$$\text{RMS} = \text{sqrt}(\Sigma(e_i^2)/N)$$

Assumendo che l'errore sia Gaussiano, σ avrà un intervallo di confidenza attorno al valore medio.

L'errore di RMS prende in considerazione gli errori sistematici. Se il Mean error = 0, l'RMS risulta uguale a σ in direzione Z. Comparando σ ed RMS si indica l'errore sistematico.

Di seguito si mostrano le tabelle con i valori numerici relativi alle diverse tipologie di errore:

10.1 Errore sui dati relativi alla località Khulsan

| | |
|---------------|-------|
| GSD (cm) | 2.86 |
| M.R.E (pixel) | 0.338 |

| | | | |
|-------------------|-----------|--------|-------|
| | ω | χ | K |
| G.O.V. (°) RMS | 2.19 8 | 2.870 | 2.351 |

| A. G. V. | Mean (m) | | | σ (m) | | | RMS error (m) | | |
|----------------|----------|----------|-----------|--------------|-----------|----------|---------------|-----------|-----------|
| | x | y | z | x | y | z | x | y | z |
| | 5.619443 | 2.919227 | 49.877494 | 12.568447 | 10.607020 | 6.980577 | 13.767498 | 11.001398 | 50.363606 |

Tab. 13

10.2 Errore sui dati relativi alla località Nemegt

| Sottoprogetti | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| GSD (cm) | 3.11 | 3.54 | 3.15 | 2.38 | 3.07 | 3.37 | 2.42 | 2.61 | 3.38 | 2.37 | 2.35 |
| M.R.E (pixel) | 0.306 | 0.298 | 0.290 | 0.283 | 0.322 | 0.305 | 0.301 | 0.285 | 0.126 | 0.113 | 0.337 |
| G O V (°)-RMS | | | | | | | | | | | |
| ω | 1.191 | 1.367 | 1.159 | 1.336 | 1.681 | 1.268 | 2.143 | 1.414 | 2.790 | 1.690 | 1.947 |
| χ | 1.545 | 2.381 | 1.191 | 2.561 | 0.950 | 1.512 | 1.468 | 1.943 | 1.260 | 1.980 | 0.765 |
| K | 1.884 | 1.510 | 1.931 | 1.530 | 1.834 | 1.398 | 1.555 | 1.225 | 1.846 | 1.359 | 1.316 |

Tab. 14

Absolute Geolocation Variance (A.G.V.)

| | Mean (m) | | |
|------|-----------|-----------|-----------|
| | X | Y | Z |
| S 1 | 0 | 0 | 0 |
| S 2 | 0 | 0 | 0 |
| S 3 | 0 | 0 | 0 |
| S 4 | -0.000108 | -0.000335 | -0.010229 |
| S 5 | 0 | -0.000001 | -0.000001 |
| S 6 | 0 | 0 | 0 |
| S 7 | 0 | 0 | 0 |
| S 8 | 0 | 0 | -0.000001 |
| S 9 | 0 | 0 | 0 |
| S 10 | 0.000274 | -0.000703 | 0.016500 |
| S 11 | 0 | -0.000347 | 0.001010 |

Tab.15

| | σ (m) | | |
|------|--------------|----------|-----------|
| | X | Y | Z |
| S 1 | 3.453863 | 2.564344 | 3.399581 |
| S 2 | 3.762826 | 2.546845 | 24.682069 |
| S 3 | 3.228194 | 4.518361 | 4.171882 |
| S 4 | 3.963798 | 3.268714 | 10.733120 |
| S 5 | 3.363925 | 2.870129 | 8.444255 |
| S 6 | 4.186494 | 3.002979 | 13.964420 |
| S 7 | 2.908945 | 3.342933 | 15.586985 |
| S 8 | 3.700271 | 3.045358 | 4.987545 |
| S 9 | 3.652598 | 2.373982 | 11.116816 |
| S 10 | 2.633685 | 3.506796 | 9.833584 |
| S 11 | 2.590313 | 3.799953 | 9.139556 |

Tab.16

| | RMS error (m) | | |
|------|---------------|----------|-----------|
| | X | Y | Z |
| S 1 | 3.453863 | 2.564344 | 3.399581 |
| S 2 | 3.762826 | 2.546845 | 24.682069 |
| S 3 | 3.228194 | 4.518361 | 4.171882 |
| S 4 | 3.963798 | 3.268714 | 10.733125 |
| S 5 | 3.363925 | 2.870129 | 8.444255 |
| S 6 | 4.186494 | 3.002979 | 13.964420 |
| S 7 | 2.908945 | 3.342933 | 15.586985 |
| S 8 | 3.700271 | 3.045358 | 4.987545 |
| S 9 | 3.652598 | 2.373982 | 11.116816 |
| S 10 | 2.633685 | 3.506796 | 9.833598 |
| S 11 | 2.590313 | 3.799953 | 9.139556 |

Tab.17

Nel caso della località Nemegt, non basta semplicemente ricavare i valori di errore ottenuti dal *processing* dei dati, perchè suddividendo il progetto per poi creare comunque un modello unico, abbiamo amplificato gli errori presentati in tabella.

L'obiettivo è quello di ottenere un valore cumulativo per ogni tipologia.

Esistono diverse modalità di approccio per il calcolo dell'incertezza, una, semplificativa è il calcolo della media degli errori relativi agli 11 sottoprogetti:

$$\text{GSD medio} = \frac{\Sigma \text{GSD}}{N} = \frac{31.75}{11} = \mathbf{2.88}$$

N = numero sottoprogetti = 11

$$\text{Mean reprojection error (medio)} = \frac{2.966}{11} = \mathbf{0.269}$$

Geolocation orientation variance

$$- \omega \text{ (media)} = \frac{17.986}{11} = \mathbf{1.635}$$

$$- \chi \text{ (media)} = \frac{17.556}{11} = \mathbf{1.596}$$

$$- K \text{ (media)} = \frac{17.388}{11} = \mathbf{1.580}$$

Absolute Geolocation Variance (m)

$$- \text{Mean: } X = \mathbf{1.50909E-05}$$

$$Y = \mathbf{-0.00013}$$

$$Z = \mathbf{0.000662}$$

$$- \sigma = \text{RMS: } X = \mathbf{3.404083}$$

$$Y = \mathbf{3.167309}$$

$$Z = \mathbf{10.55089}$$

11 Discussione

Nei precedenti capitoli si è visto come le mappe presentate da Gradzinski e altri autori in seguito alle diverse spedizioni, fossero destinate a documentare la posizione geografica delle rocce Cretaciche e dei siti fossiliferi più importanti e come l'accuratezza topografica e geomorfologica di queste mappe sia molto limitata.

La georeferenziazione delle mappe storiche delle località Khulsan e Nemegt attraverso il rilievo degli stessi punti di riferimento utilizzati anche dagli autori passati ha permesso di valutare la posizione corretta dei giacimenti storici verificandone anche la corretta ubicazione durante il lavoro sul terreno.

Nel disegnare le carte a mano, gli autori hanno commesso fundamentalmente due diversi errori, il primo, che si ripropone in tutte le mappe, è il corretto orientamento della mappa verso Nord; il secondo errore è quello della scala delle mappe presentate nella letteratura consultata, in alcuni casi è simile o uguale alla scala reale, in altri casi invece è totalmente errata.

La precisione ottenuta nella georeferenziazione delle 4 mappe dipende dal numero di GCP marcati sulla cartografia storica. Il diverso numero di punti disponibili e la loro posizione nelle mappe hanno portato ad una diversa deformazione nelle varie parti della carta. Di conseguenza si hanno risultati maggiormente attendibili nella località di Khulsan e nel *Northern* e *Central Nemegt* dove la distribuzione dei GCP è abbastanza omogenea a differenza del *Southern Nemegt* dove i punti disponibili sono pochi.

Per la costruzione della nuova cartografia si è visto come il software *Pix4D mapper* abbia portato ad ottenere risultati soddisfacenti per entrambe le località anche se con tempi di elaborazione molto lunghi.

Nel caso di Khulsan, il modello digitale del terreno è attendibile e presenta errori prossimi allo zero nella campionatura delle immagini. Di conseguenza, l'ortofoto è molto precisa e la risoluzione è sufficientemente alta. Questa precisione ha permesso di ottenere facilmente ed in tempi brevi, le *contour lines* a 5 m direttamente dal *processing* di *Pix4D*. L'elaborazione sul software, suddivisa in 3 step, si è conclusa in circa un mese.

Per la località Nemegt l'elaborazione è stata più lunga ed ha richiesto la suddivisione in sotto-progetti a causa dell'elevatissimo numero di immagini da trattare. In questo caso la campionatura delle immagini ha riportato un maggior numero di errori in alcuni sotto-progetti facendo sì che nel modello finale la risoluzione non fosse omogenea sull'intero areale.

Nel modello digitale del terreno si possono individuare anche solo visivamente le zone di sovrapposizione dei diversi sotto-progetti; questo è dovuto a piccole differenze di quota nella ricostruzione dei modelli 3D dei sotto-progetti a causa della scarsa copertura di immagini in alcune piccole aree. La causa di queste differenze è stata generata al momento del rilievo sul terreno che è stato realizzato in momenti differenti, spesso anche con intervalli temporali di alcuni giorni, per cui la strumentazione GPS mostrava scarti importanti soprattutto sull'asse Z.

Queste piccole imprecisioni si possono notare anche in alcuni profili altimetrici; ad esempio per la località Khulsan notiamo come la morfologia del terreno abbia un andamento verosimile mentre nei profili della zona del Nemegt si notano alcune porzioni in cui si vedono punti differenti con grande scarto altimetrico molto ravvicinati fra di loro, e questo non rappresenta la reale morfologia del terreno ma zone in cui il modello 3D

deriva da un'area con una scarsa copertura di immagini per cui ci sono punti in cui l'asse Z è molto sfasato anche tra punti adiacenti. In questi casi è difficile risalire ad un valore di incertezza accurato per quanto riguarda la ricostruzione della quota dei punti; dall'analisi dei dati numerici si evince che l'errore maggiore è sempre sulla ricostruzione della quota. Per avere una migliore correzione dovremmo sempre disporre di un maggior numero di GCP dislocati in maniera uniforme nell'area oggetto del rilievo per cui il valore di RMS (z) risulti comunque il più basso possibile. Infatti se confrontiamo i due principali modelli ricostruiti in questo lavoro possiamo notare come quello di Khulsan sia più omogeneo e più attendibile ma presenta un RMS sull'asse Z più alto a causa del minor numero di GCP a disposizione; caso opposto il modello 3D dell'area del Nemegt presenta parecchie aree a bassa copertura ma dal calcolo del RMS (z) otteniamo valori più bassi dell'errore grazie al grande numero di GCP utilizzati.

Analizzando i risultati ottenuti in questa tesi, il software *Pix4D mapper* risulta sicuramente un ottimo mezzo per la costruzione di ortofoto e modelli tridimensionali, ma per aree molto grandi i tempi di elaborazione sono molto lunghi e comunque i risultati presentano diverse imprecisioni dovute alla suddivisione in sotto-aree e al successivo "merge".

La scelta di utilizzare come punti di riferimento i GCP, gli scavi e la posizione dei diversi campi base è dovuta al fatto che, oltre a fornire un dato cartografico completo, si ha la possibilità di confrontare i nuovi rilievi e la nuova cartografia con la documentazione storica.

Nelle mappe delle località Khulsan e Nemegt disegnate dai diversi autori, sono presenti poche informazioni sulla geologia dell'area. In particolare viene rappresentato il limite superiore della Formazione Baruungoyot ma non vengono documentati in nessun lavoro i limiti dell'*Interfingering*, quelli della Formazione Nemegt e soprattutto non ci sono riferimenti ai rapporti stratigrafici tra le varie unità.

In letteratura, sono state proposte diverse correlazioni che ad oggi però hanno una valenza limitata considerando i limiti metodologici della cartografia storica in cui sono presenti solamente informazioni topografiche e geologiche speditive e non è presente un *continuum* laterale. Infatti, in tutti i lavori, sono presenti descrizioni esaustive delle *facies* ma mai un confronto della loro distribuzione laterale. I marker utilizzati, inoltre, nel tempo si sono rivelati deboli perché utilizzare il tetto di una formazione che si interdigita non ha la stessa attendibilità di utilizzare come limite un contatto ben distinguibile, come era stato definito inizialmente, (Efremov, 1954).

Le correlazioni stratigrafiche basate sulla correlazione geometrica della stratificazione, erano state condotte dagli autori su località discontinue e possono aver portato ad un errore amplificato dalla bassa qualità delle informazioni topografiche.

La nuova cartografia geologica proposta in questa tesi, sia per la località Khulsan che per la località Nemegt, è stata utilizzata per tracciare i limiti delle diverse unità e per comprendere i rapporti stratigrafici tra queste.

La carta geologica speditiva ottenuta dall'analisi spettrale dell'immagine Landsat, risulta maggiormente attendibile. Questo perché l'immagine contiene tutte le informazioni spettrali necessarie per una buona classificazione, infatti non si basa esclusivamente sull'analisi del colore ma prende in considerazione tutte le bande disponibili.

Le due carte geologiche relative alle località Khulsan e Nemegt, sono state costruite invece integrando il lavoro sul software ArcMap e l'analisi d'immagine RGB sul software ENVI. L'attendibilità delle classificazioni ottenute è sicuramente più bassa rispetto al caso

precedente; questo perché l'analisi svolta esclusivamente sul colore dell'ortofoto può presentare numerose variazioni dipendenti da diversi fattori. Tra questi il più influente è sicuramente la luce presente al momento del rilievo aereo. Infatti, soprattutto per la località Nemegt che ha un'elevata estensione areale, i fotogrammi sono stati acquisiti in giorni e orari diversi. Ciò nonostante è stata ottenuta una buona discriminazione delle coperture osservate, soprattutto per il caso di Khulsan.

La restituzione del dato in shapefile vettoriali ha permesso di integrare i risultati ottenuti da elaborazione su software, con la conoscenza sul campo permettendo di correggere le zone di errore e di poter aver un maggior controllo sul risultato finale, riducendo le incertezze.

Sulla base dei nuovi dati cartografici e stratigrafici raccolti e sull'interpretazione dei profili geologici, è stata finalmente definita una successione stratigrafica completa di riferimento delle unità presenti rilevate nelle diverse località di interesse correlate ora in maniera corretta.

La carta geologica della località Khulsan ha confermato come in questa zona, il Cretaceo superiore sia rappresentato esclusivamente dalla Formazione Baruungoyot, mentre spostandosi ad Ovest, nella località Nemegt si possono documentare la Formazione Baruungoyot, l'intervallo di *interfingering* e la Formazione Nemegt. La prima è principalmente esposta nella porzione meridionale e centro-orientale dell'area; la Formazione Nemegt affiora principalmente nella porzione settentrionale dell'area e lungo il *Western sayr*. La zona del *Northern Nemegt* non è molto rilevante in termini di ritrovamenti di vertebrati fossili ma fondamentale per la ricostruzione e correlazione stratigrafica grazie alla particolare morfologia del *Viper sayr* e del *Goat sayr* dove sono ben esposte entrambe le formazioni. In particolare la zona del *Northern sayr* è rappresentativa, spostandosi da Sud a Nord, della Formazione Baruungoyot, dell'*interfingering* e della Formazione Nemegt fornendo così una sezione geologica completa della località. Anche nel *Red Field* sono esposti i depositi della Formazione Baruungoyot, sia eolici che fluviali. Nel *Western sayr* invece è esposta esclusivamente la Formazione Nemegt. L'alternanza di facies tra la Nemegt e la Baruungoyot può essere osservata in maniera più dettagliata a est del *Goat sayr*, lungo la scarpata che delimita il lato sinistra del *sayr*, 1 km a monte del *Red Field*.

In accordo con le interpretazioni proposte da Eberth nel 2009, durante la spedizione del 2016 sono state acquisite nuove sezioni stratigrafiche che documentano la natura ed i limiti dell'intervallo stratigrafico di *interfingering*, nel *Central Nemegt* dove questo è maggiormente esposto. Grazie agli studi più recenti è stata documentata, all'interno di questa fascia di transizione, la presenza di due intercalazioni relative alla Formazione Nemegt e due relative alla Fm. Baruungoyot, queste hanno uno spessore complessivo, compreso tra 20 e 25 m.

Di seguito vengono mostrati gli affioramenti nella zona del *Red Walls* dove si possono osservare le alternanze che caratterizzano l'*interfingering* tra le lingue della Fm. Baruungoyot e la Fm. Nemegt, (Fanti et al., 2017).

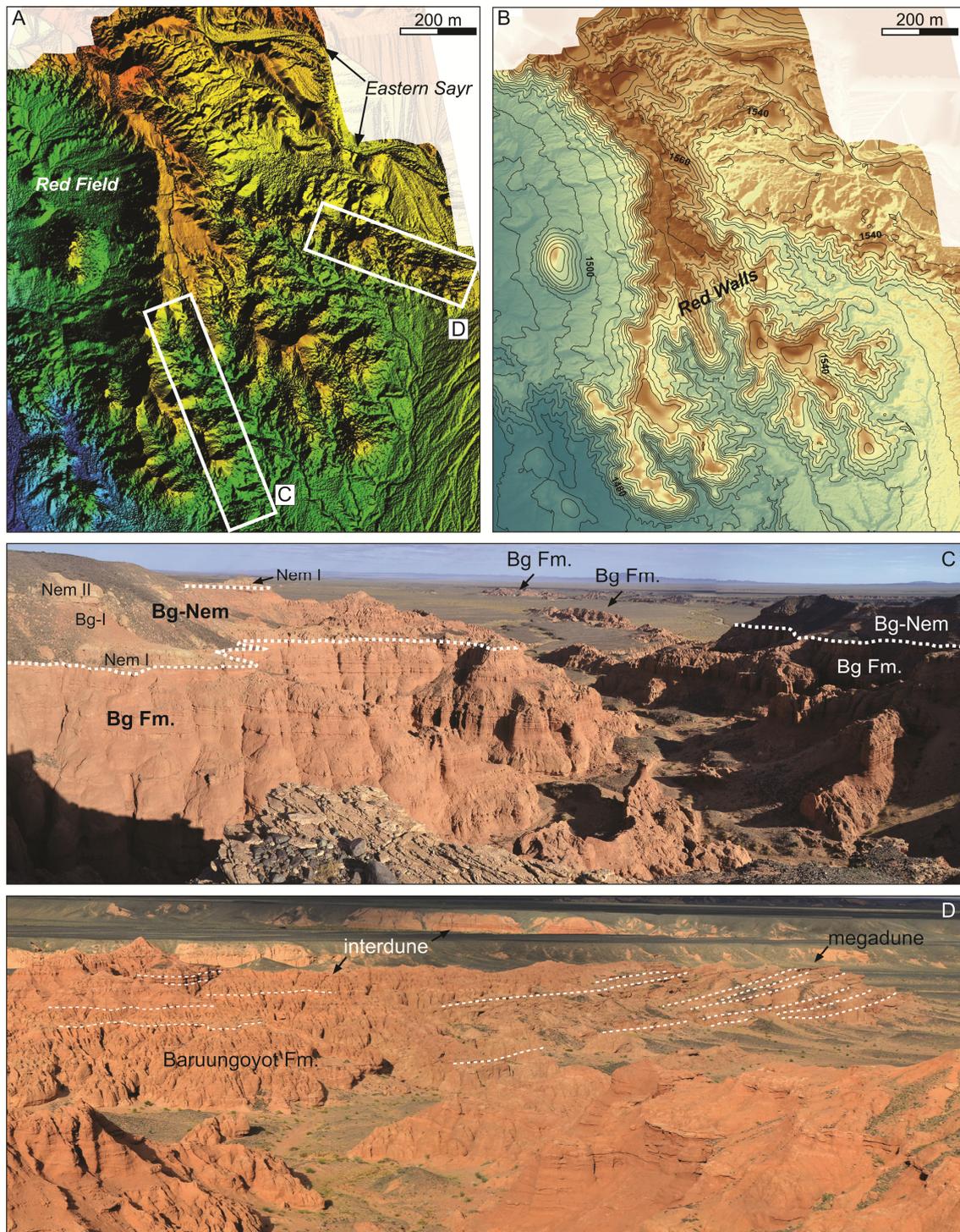


Fig.57 - A: modello digitale del terreno, dettaglio della zona del *Red Walls*; **B:** carta topografica della medesima zona mostrata in "A"; **C-D:** foto panoramiche (Fanti et al., 2017).

Osservando i limiti geologici rappresentati nelle nuove mappe, si nota come la zona del *Central Nemegt* sia la zona più significativa dell'intera località, in quanto è possibile individuare la successione stratigrafica completa dei sedimenti del Cretaceo Superiore che caratterizzano questa parte del bacino.

Infatti, disegnando un transetto (A-B) in questa zona, si può osservare come spostandosi da Est a Ovest, avvenga la transizione tra le varie unità: Formazione Baruungoyot, *interfingering* e Formazione Nemegt.

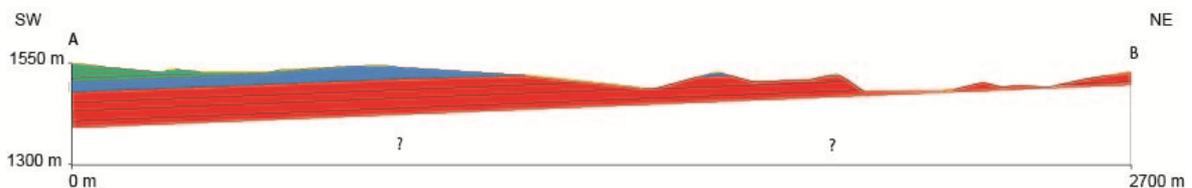
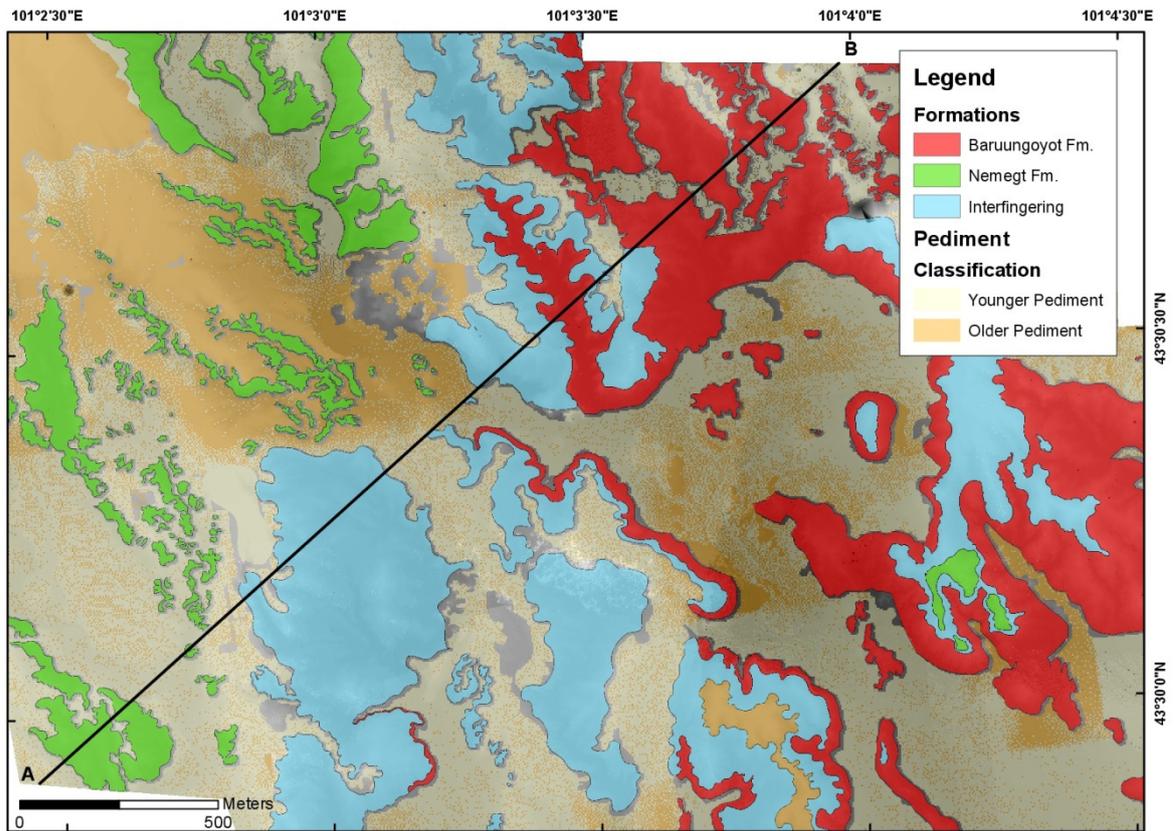


Fig.58 – In alto: Transetto AB nella zona del Central Nemegt; In basso: Sezione geologica speditiva AB. Lo spessore del *Pediment* è simbolico.

La figura 58 rappresenta una sezione geologica speditiva in cui non è stata riportata la distinzione tra *Younger* e *Older Pediment* ma si parla di *Pediment* generico con spessore leggermente esagerato in modo da renderlo visibile nell'immagine.

Non disponiamo attualmente delle informazioni necessarie per rappresentare la base della Fm. Baruungoyot, per questo al di sotto dei 120 m di spessore stimati per questa formazione non viene rappresentato alcun livello.

Come è stato discusso nel capitolo 4, Gradzinski e Jerzikiewicz nel 1974 avevano proposto un primo tentativo di correlazione tra le unità affioranti nelle località Nemegt e Khulsan utilizzando il metodo dell'estrapolazione spaziale (Gradzinski, 1968; Gradzinski and Jerzikiewicz, 1974).

Gli autori, correlando le diverse sezioni stratigrafiche avevano stimato uno spessore della Formazione Baruungoyot di circa 100 m, di cui una parte superiore di 20 m esposta nella zona Ovest dell'area (*Eastern Sayr, Red Field, Red Walls, Red Monadnocks, Southern Monadnocks*) e la parte inferiore esposta nella località Khulsan e nei *Southern Monadnocks* (Gradzinski and Jerzykiewicz, 1974).

Gradzinski e Jerzikiewicz nel 1974 hanno indicato una mancanza di continuità nella successione esposta nelle località Khulsan e Nemegt, con una lacuna stratigrafica di circa 20 m.

I nuovi dati presentati in questo studio confutano questa interpretazione, infatti in accordo con il lavoro di Eberth del 2009, il tetto della Baruungoyot affiorante nel *Red Walls*, rappresenta in realtà, il tetto della prima intercalazione dell'*interfingering*. Tale interpretazione è supportata anche dalla presenza di esposizioni continue sui fianchi Est e Ovest del *Red Walls* e dalla correlazione di sezioni stratigrafiche misurate nell'area del *Red Field*, *Goat sayr* e lungo l'*Eastern sayr* (Eberth et al., 2009) mostrando la continuità laterale tra le porzioni esposte nelle due località.

Le nuove mappe topografiche, con isoipse dettagliate, hanno permesso di mappare con precisione i limiti geologici e quindi di rivalutare lo spessore delle unità presenti. Lo spessore complessivo risulta quindi di circa 225 m, di cui circa 120 m di Fm. Baruungoyot, 25 m di *Interfingering* mentre, lo spessore della Fm. Nemegt risulta essere di circa 80 m, rispetto ai 170 m proposti in letteratura.

Invece la giacitura degli strati affioranti stimata dagli autori, concorda con i nuovi rilievi ed ha portato a definire uno strike di 105° e un dip di circa 2° verso S-SO.

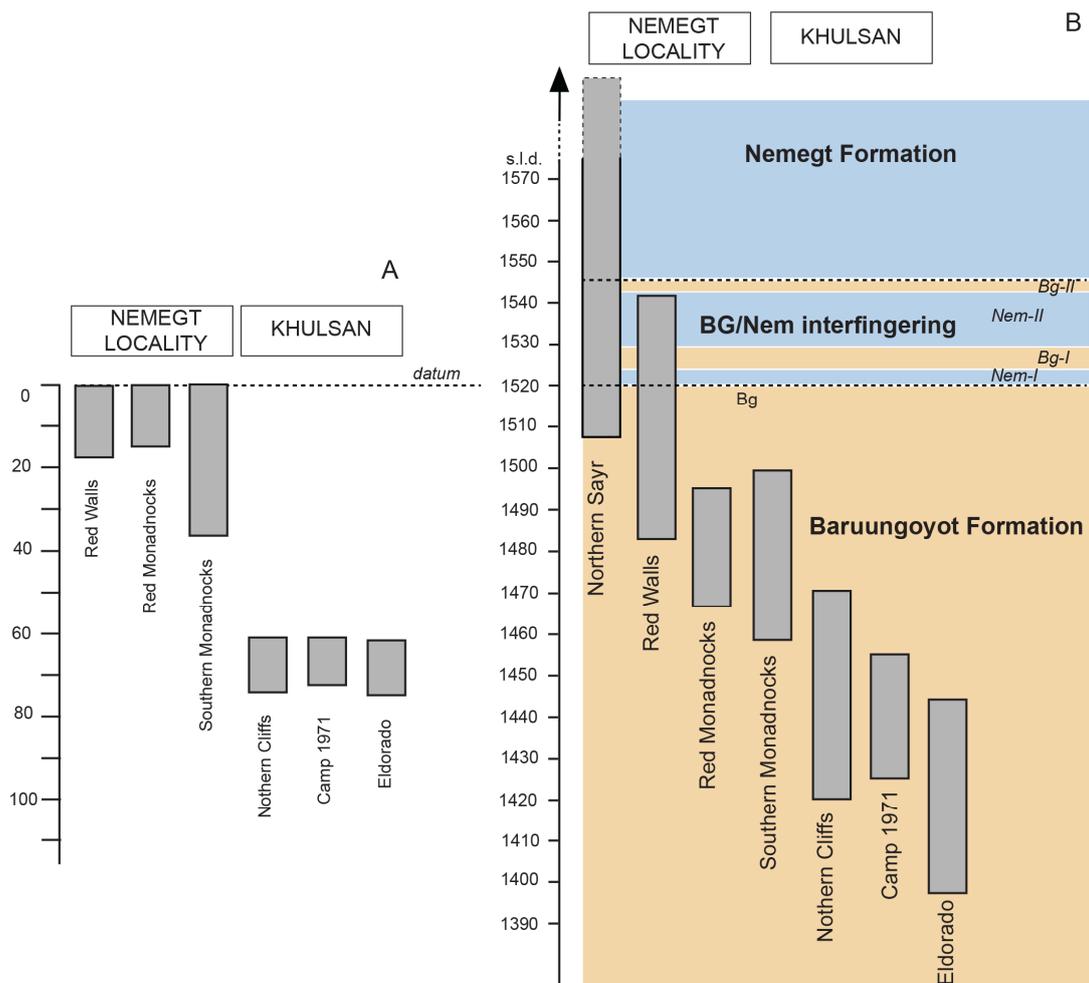


Fig.59 – Correlazione stratigrafica tra le località Khulsan e Nemegt. **A:** Tabella di correlazione stratigrafica proposta nell'articolo di Gradzinski and Jerzikiewicz (1974a). **B:** Nuova Tabella di correlazione stratigrafica tra le due località di interesse (Fanti et al., 2017).

Le nuove mappe topografiche e geologiche hanno permesso inoltre di analizzare la collocazione degli scavi storici documentati dalle *Polish Mongolian Paleontological Expeditions (PMPE)*.

La Formazione Baruungoyot nelle facies eoliche/megadune è caratterizzata da abbondanti resti fossili, mentre nelle sovrastanti facies di interduna/fluviali si evidenzia una scarsa presenza di resti di vertebrati.

L'intervallo di *interfingering* è invece relativamente ricco in resti fossili tanto che proprio in questo intervallo ritroviamo la maggior parte degli scavi documentati concentrati soprattutto nella zona del *Central sayr*.

Grazie al riposizionamento dei punti relativi ai ritrovamenti storici sulla nuova stratigrafia, nel grafico sottostante viene riportata la distribuzione stratigrafica dei taxa relativi agli scavi delle *PMPE*. Come si può notare, la maggior parte dei resti fossili si trova all'interno dell'intervallo di *Interfingering* (area evidenziata in grigio) e alla base della Formazione Nemegt.

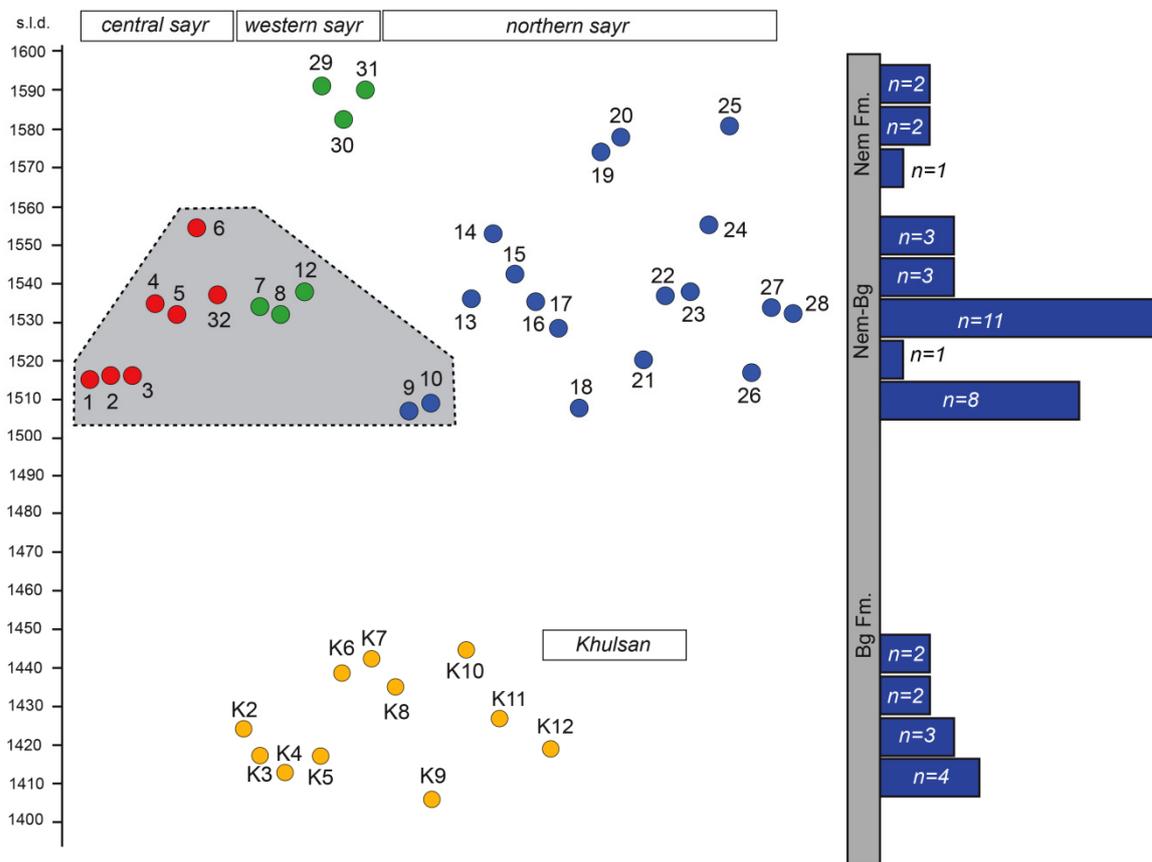


Fig.60 – Distribuzione stratigrafica dei taxa presenti nelle località Khulsan e Nemegt, (Fanti et al., 2017). Per i riferimenti ai numeri consultare le Tabelle 2, 3, 4.

Plottando nella crata geologica i punti dei resti fossili rappresentati da scheletri di *Tarbosaurus* e *Gallimimus* si nota che questi sono ubicati sempre all'interno della Fm. Nemegt.

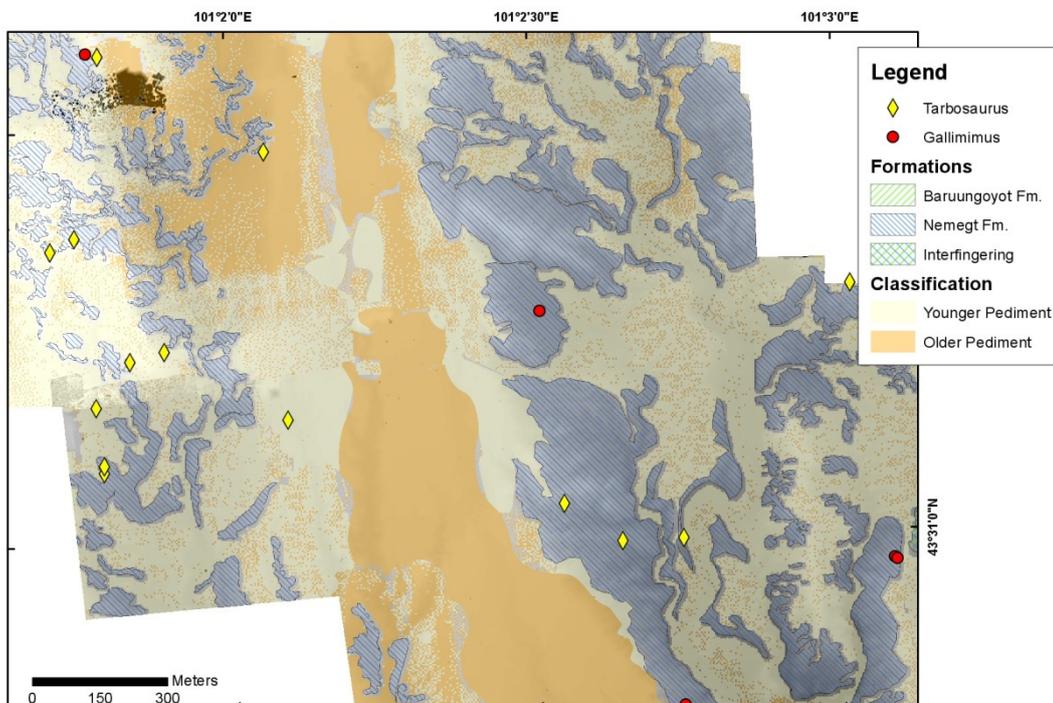


Fig.61 - Carta geologica del Northern Sayr con i punti degli scavi relativi a *Tarbosaurus* e a *Gallimimus*.

Un'altra fase del lavoro è stata quella di identificare la posizione delle diverse impronte fossili. Fino ad oggi gli autori non avendo indicazioni dettagliate sulla topografia e sulla geologia dell'area non avevano collocato queste impronte in un preciso intervallo stratigrafico.

Plottando i punti in realtà, la disposizione geografica dei siti a impronte mostra una distribuzione all'interno della successione stratigrafica concentrata in un intervallo discreto ben definito e delimitato; si tratta della parte superiore della zona di *interfingering*, quella in cui gli strati sovrastanti rappresentano già la base della Formazione Nemegt. Al di fuori di questo livello stratigrafico gli strati contenenti impronte sono abbastanza rari.

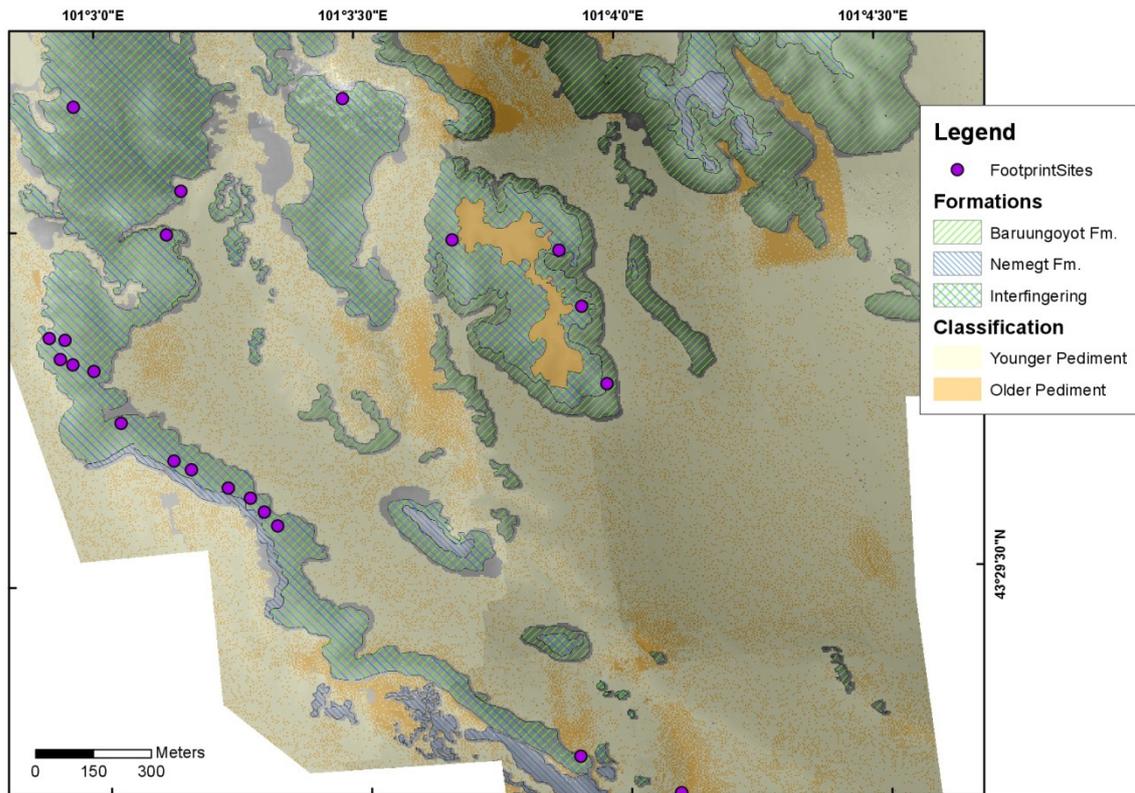


Fig. 62 – Carta geologica della zona Ovest del Central Nemegt; i simboli viola rappresentano i siti a impronte.

Questo intervallo era stato individuato già durante la spedizione del 2016, in quanto presenta un aspetto ben distinguibile, con controimpronte evidenti come mostrato dalla freccia nella figura sottostante:



Fig.63 – Fotografia scattata durante la spedizione del 2016, la freccia rossa indica il livello a impronte.

La maggior parte delle impronte è stata identificata come appartenente a *Saurolophus*, ma sono state individuate anche impronte di *Tarbosaurus* e *Opisthocoelicaudia*, (Currie, 2003).



Fig.64 – Fotografia di una delle impronte trovate durante la spedizione del 2016.

12 Conclusioni

Questo studio costituisce la prima realizzazione di mappe topografiche e geologiche delle località Khulsan e Nemegt, fondamentali per la revisione della stratigrafia, dei rapporti stratigrafici e delle indicazioni biostratigrafiche.

Le mappe fino ad oggi disponibili erano disegnate a mano e presentavano numerose imprecisioni, erano inadatte per gli studi geologici e paleontologici di un'area così importante.

Il lavoro sul terreno durante la missione 2016 ha permesso di ottenere le immagini da rilievo aereo, le sezioni stratigrafiche di dettaglio e le foto panoramiche. Attraverso la mappatura dei GCP tutte queste informazioni sono state correttamente georeferenziate e hanno permesso di correlare stratigraficamente località diverse.

In particolare abbiamo ottenuto le nuove mappe topografiche delle località Khulsan, Nemegt, Altan Uul III e Tsagaan Khushuu e le mappe geologiche delle località Khulsan e Nemegt su cui viene documentata la distribuzione spaziale delle unità affioranti.

La risoluzione orizzontale di queste mappe è risultata molto buona, è stata determinata tramite il valore GSD (*Ground Sampling Distance*): 2.86 cm per la località Khulsan e di 2.88 cm (errore medio) per la località Nemegt.

Oltre ai nuovi punti GPS acquisiti nella campagna 2016, è stata eseguita la mappatura di tutti i punti relativi ai siti di scavo storici e ai GCP utilizzati durante le *Polish Mongolian Paleontological Expeditions*; questo ha permesso di ottenere un *dataset* completo per le future spedizioni re-inquadrando geograficamente anche tutta la bibliografia storica.

La realizzazione della carta geologica ha permesso di analizzare ed interpretare i rapporti stratigrafici tra le unità presenti e ha fornito indicazioni dettagliate sui rapporti tra la Formazione Nemegt, la zona denominata *Interfingering* e la Formazione Baruungoyot anche laddove nelle mappe storiche veniva presentata solo quest'ultima.

Dai dati topografici e geologici raccolti, si ricostruisce come lo spessore complessivo delle diverse formazioni sia di circa 220 m, di cui circa 120 m di Baruungoyot, 20-25 m di *Interfingering* e 80 m di Nemegt mentre fino ad oggi gli spessori valutati erano ben differenti.

Il sistema informativo completo di nuova realizzazione permette quindi di consultare agevolmente e contemporaneamente dati topografici, geologici, morfologici ecc. migliorando l'attendibilità delle interpretazioni. Per questo motivo può essere considerato un valido strumento da utilizzare per la programmazione delle future prospezioni nelle diverse località.

Bibliografia

Arbour, V., Currie, P.J., Badamgarav, D., 2014. The ankylosaurid dinosaurs of the Upper Cretaceous Baruungoyot and Nemegt formations of Mongolia. *Zoological Journal of the Linnean Society* 172:631-652.

Benton, M.J., 2001. Conventions in Russian and Mongolian palaeontological literature: Mongolian place names and stratigraphic terms, *in*: Benton, M.J., Shishkin, D.M. Unwin, Kurochkin E.N. (Eds.), *The Age of Dinosaurs in Russia and Mongolia*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. xxii-xxviii.

Cunningham, D., Davies, S., Mclean, D., 2009. Exhumation of a Cretaceous rift complex within a late Cenozoic restraining bend, southern Mongolia: implications for the crustal evolution of the Gobi Altai region. *Journal of the Geological Society of London* 166, 321-333.

Cunningham, D., 2013. Mountain building processes in intracontinental oblique deformation belts: Lessons from the Gobi Corridor, Central Asia. *Journal of Structural Geology* 46, 255-282.

Currie, P.J., Badamgarav, D., Koppelhus, E., 2003. The first Late Cretaceous footprints from the Nemegt locality in the Gobi of Mongolia. *Ichnos* 10, 1-12.

Currie, P.J., 2016. Dinosaurs of the Gobi: following in the footsteps of the Polish-Mongolian Expeditions. *Palaeontologia Polonica* 67, 83-100.

Dashzeveg, D., Dingus, L., Loope, D., Swisher III, C., Dulam, T., Sweeney, M., 2005. New Stratigraphic Subdivision, Depositional Environment, and Age Estimate for the Upper Cretaceous Djadokhta Formation, Southern Ulan Nur Basin, Mongolia. *American Museum Novitates* 3498, 31 pp.

Dessena, M. A. e Melis, M. T., 2006. *Telerilevamento applicato*. Mako Edizioni (Quartu Sant'Elena-CA), 320 p.

Eberth, D.A., Badamgarav, D., Currie, P.J., 2009. The Baruungoyot-Nemegt transition (Upper Cretaceous) at the Nemegt type area, Nemegt Basin, south central Mongolia. *Journal of the Paleontological Society of Korea* 25, 1–15.

Efremov, I.A., 1950. *Tafonomia i geologicheskaya letopis*. Tr. Paleont. Inst. AN SSSR, 24. Moskva: Leningrad.

Efremov, I.A., 1954. *Paleontologicheskie issledovania v Mongolskoy Narodnoy Respublike (predvaritelnye rezultaty ekspeditsiy 1946, 1948 i 1949 gg.)*. Tr. Mong. Kom. AN SSSR, 59, 3-22. Moskva.

Efremov, I.A., 1955. *Zakhronenie dinozavrov v Nemegetu · (Yuzhnaya Gobi, MNR)*. Vopr. Geol. Azii, 2, 789-809. Moskva.

Elzanowski, A., 1974. Preliminary note on the palaeognathous bird from the Upper Cretaceous of Mongolia. *Palaeontologia Polonica* 30, 103-110.

Fanti, F., Cantelli, L., Angelicola L., 2017, (*submitted*). High-resolution maps of Khulsan and Nemegt localities (Nemegt Basin, southern Mongolia): stratigraphic implications. *Palaeoecology, Palaeogeography, Palaeoclimatology*.

Fanti, F., Currie, P.J., and Badamgarav, D. 2012. New specimens of *Nemegtomaia* from the Baruungoyot and Nemegt Formations (Late Cretaceous) of Mongolia. *PLoS ONE* 7 (2): e31330. DOI:10.1371/journal.pone.0031330.

Funston, G., Currie, P.J., Eberth, d., Ryan, M., Chinzorig, T., Badamgarav, D., Longrich, N., 2016. The first oviraptorosaur (Dinosauria: Theropoda) bonebed: evidence of gregarious behaviour in a maniraptoran theropod. *Scientific Reports* 6:35782, DOI: 10.1038/srep35782

Gradzinski, R., Kazmierczak J., and Lefeld. J., 1968. Geographical and geological data from the Polish-Mongolian palaeontological expeditions. *Palaeontologia Polonica*19: 3-82.

Gradzinski, R., 1970. Sedimentation of dinosaur-bearing Upper Cretaceous deposits of the Nemegt Basin, Gobi Desert. *Palaeontologia Polonica* 21: 147-229.

Gradzinski, R. and Jerzykiewicz, T., 1972. Additional geographical and geological data from the Polish-Mongolian paleontological expeditions. Polish Academy of Sciences, Institute of Geological sciences, Krakov.

Gradzinski, R. and Jerzykiewicz, T., 1974a. Sedimentation of the Barun Goyot Formation. *Palaeontologia Polonica* 30: 111-146.

Gradzinski, R., Jerzykiewicz, T. 1974b. Dinosaur-and mammal-bearing Aeolian and associated deposits of the Upper Cretaceous in the Gobi Desert (Mongolia). *Sedimentary Geology* 12, 249–278.

Gradzinski, R., Kielan-Jaworowska, Z., and Marayanska, T., 1977. Upper Cretaceous Djadokhta, Barun Goyot and Nemegt formations of Mongolia, including remarkson previous subdivisions. *Acta Geologica Polonica* 27: 281-317.

Hasegawa, H., Tada, R., Ichinnorov, N., Minjin, C., 2009. Lithostratigraphy and depositional environments of the Upper Cretaceous Djadokhta Formation, Ulan Nuur basin, southern Mongolia, and its paleoclimatic implication. *Journal of Asian Earth Sciences* 35, 13 - 26.

Jerzykiewicz, T., Russell, D.A., 1991. Late Mesozoic stratigraphy and vertebrates of the Gobi Basin. *Cretaceous Research* 12, 345 - 377.

- Jerzykiewicz, T., 2001. Lithostratigraphy and sedimentary settings of the Cretaceous dinosaur beds of Mongolia, *in*: Benton, M.J., Shishkin, D.M. Unwin, Kurochkin E.N. (Eds.), *The Age of Dinosaurs in Russia and Mongolia*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 279-296.
- Kielan-Jaworowska, Z. 1974. Multituberculate succession in the Late Cretaceous of the Gobi Desert (Mongolia). *Palaeontologia Polonica* 30, 23-44.
- Longrich, N., Currie, P.J., Zhi-Ming, D., 2010. A new oviraptorid (Dinosauria: theropoda) from the Upper Cretaceous of Bayan Mandahu, Inner Mongolia. *Palaeontology* 53, 945-960.
- Unwin, M. J. and Kurochkin, E. N. (eds.), *The Age of Dinosaurs in Russia and Mongolia*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Marinov, N. A., 1957. *Stratigrafia Mongolskoy Narodnoy Resptibliki*, 1-266. Izd. AU SSR, Moskva.
- Mikhailov, K., Sabath, K., Kurzanov, S., 2004. Eggs and nests from the Cretaceous of Mongolia. *In*: K. Carpenter, K.F. Hirsch, and J.R. Horner (eds.), *Dinosaur Eggs and Babies*, 88–115. Cambridge University Press, Cambridge.
- Mlynarski, M., 1972. *Zangerlia testudinimorpha*, N. gen., n. sp., a primitive land tortoise from the Upper Cretaceous of Mongolia. *Palaeontologia Polonica*, 27, 85-94
- Mlynarski, M., and Narmandach, P., 1972. New turtle remains from the Upper Cretaceous of the Gobi Desert, Mongolia. *Palaeontologia Polonica*, 27, 95-101
- Nevin, CH. M., 1949. *Principles of structural geology*. 4th ed., 1 - 410, New York.
- Novozhilov, N.I., 1954a. Mestonakhozhdenia mlekopitayuschchi'k.b. n. lizbnego eocena i verkhnego paleocena Mongolii. *Tr. Mong. Kom.*, 59, 33-46. Moskva.
- Nowinski, A. 1971. *Nemegtosaurus mongoliensis* n. gen., n. sp., (Sauropoda) from the uppermost Cretaceous of Mongolia. *Palaeontologia Polonica* 25: 57–81.
- Oberlander, T.M., 1989. Slope and pediment systems, in D.S.G. Thomas (ed.) *Arid Zone Geomorphology*, 56–84, London: Belhaven.
- Osmólska, H., 1997a. Barun Goyot Formation, *in*: Currie, P.J., Padian, K. (Eds.), *Encyclopedia of Dinosaurs*. Academic Press, San Diego, pp. 41-42.
- Osmólska, H. 1997b. Nemegt Formation, *in*: Currie, P.J., Padian, K. (Eds.), *Encyclopedia of Dinosaurs*. Academic Press, San Diego, pp. 471-472.
- Richards, J.A., 1999, *Remote Sensing Digital Image Analysis* Springer-Verlag, Berlin, p. 240.

- Ripington, S., Cunningham D., England R., Hendriks, B., 2013. The crustal assembly of southern Mongolia: New structural, lithological and geochronological data from the Nemegt and Altan ranges. *Gondwana Research* 23, 1535-1553.
- Rozhdestvensky, A. 1957. Utkonosy dinozavr - zaurolof iz verkhnego mela Mongolii. *Vertebrata Palasiatica*, 1 (2), 129-47. Peking.
- Rozhdestvensky, A. 1965. Growth changes in the dinosaurs of Asia, and some problems of their taxonomy. *Palaeont. Zhurn.*, 3, 95-109. Moskva.
- Rozhdestvensky, A. 1971. Study of dinosaurs of Mongolia and their role in continental Mesozoic subdivision. *In: Mesozoic and Cenozoic fauna of Western Mongolia. JSMSG, Trans.*, 3, 21-32 Moskva.
- Rozhdestvensky, A. 1974. A history of dinosaur fauna from Asia and other continents and some problems on the paleogeography. *In: Mesozoic and Cenozoic faunas and biostratigraphy of Mongolia. JSMPE, Trans.*, 1, 107-131. Moskva.
- Shuvalov, V.F., 2000. The Cretaceous stratigraphy and palaeobiogeography of Mongolia. *In: Benton, M.J., Shishkin, M.A., Unwin, D.M., Kurochkin, E.N. (Eds.), The Age of Dinosaurs in Russia and Mongolia. Cambridge University Press*, pp. 256 – 278.
- Shuvalov, V.F., 2001. The Cretaceous stratigraphy and palaeobiogeography of Mongolia, *in: Benton, M.J., Shishkin, D.M. Unwin, Kurochkin E.N. (Eds.), The Age of Dinosaurs in Russia and Mongolia. Cambridge University Press, Cambridge*, pp. 256-278.
- Sulimski, A., 1972. *Adamisaurus magnidentatus* n. gen., n. sp. (Sauria) from the Upper Cretaceous of Mongolia. *Palaeontologica Polonica* 27, 33-40.
- Sulimski, A., 1978. New data on the genus *Adamisaurus* Sulimski 1972 (Sauria) from the Upper Cretaceous of Mongolia. *Palaeontologica Polonica* 38: 43-59.
- Szczuchura, J., and Blaszyk, J., 1970. Fresh-water ostracoda from the Upper Cretaceous of the Nemegt Basin, Gobi Desert. *Palaeontologia Polonica* 21, 107-124.
- Varricchio, D.J. and Barta, D.E. 2015. Revisiting Sabath's "larger avian eggs" from the Gobi Cretaceous. *Acta Palaeontologica Polonica* 60:11–25.
- Vasilev, V.G., Volkhonin, V.C., Grishin, G.L., Ivanov, A. Kh., Marinov, I.A. & Moskhancev K.B., 1959. Geologicheskoe stroenie Mongolskoy Narodnoy Respubliki (stratigrafia i tektonika). Leningrad.
- Weishampel, D., Barret, P., Coria, R., Le Loeuff, J., Xing, X., Xijin, Z., Sahni, A., Gomani, E., Noto, C., 2004. Dinosaur Distribution, *in: Weishampel, D., Dodson, P., Osmólska, H. (Eds), The Dinosauria Second Edition. University of California Press Berkeley*, pp.517-606.