



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI SCIENZE MM. FF. NN.

Dipartimento di Geoscienze

Direttore Prof. Domenico Rio

TESI DI LAUREA SPECIALISTICA IN
GEOLOGIA

**EVOLUZIONE TETTONICA E GEOMORFOLOGICA DEL
BACINO DI KARTALINI, GEORGIA**

Relatore: Prof. Matteo Massironi

Correlatori: Dott. Stefano Furlani

Dott. Giovanni Monegato

Laureando: Alberto Stingen

Matricola 584985

ANNO ACCADEMICO 2010/2011

Indice

1. Introduzione	pg. 3
2. Inquadramento geografico	pg. 5
3. Inquadramento geologico	
1. Il Caucaso	pg. 9
2. Inquadramento geologico dell'area studio	pg. 24
4. Geomorfologia	
1. Introduzione	pg. 27
2. Materiali e metodi	pg. 28
3. Risultati	pg. 35
4. Discussione	pg. 76
5. Studio di sintesi geologico-strutturale	
1. Introduzione	pg. 89
2. Indagine bibliografico-cartografica	pg. 89
3. La carta geologico-strutturale	pg. 91
4. Discussione	pg. 93
6. Evoluzione del bacino e archeologia	pg. 97
7. Conclusioni	pg 101
Bibliografia	pg. 103

1. INTRODUZIONE

La presente dissertazione su geomorfologia e assetto tettonico del bacino di Kartalini nel Caucaso (Georgia) si inserisce nel quadro del progetto di cooperazione archeologica italo - georgiana coordinato dalla dott. Elena Rova, docente di Archeologia e Storia dell'Arte del Vicino Oriente antico all'Università Cà Foscari di Venezia e dalla prof. Marina Puturidze del Dipartimento di Archeologia della Tbilisi State University. Le attività sul campo di questo progetto di ricerca sono iniziate nell'agosto-settembre 2009.

Lo scopo di questa cooperazione è effettuare ricerche su insediamenti risalenti all'età del Tardo Calcolitico e del Bronzo Antico (IV-III millennio a.C.) nella provincia di Shida Kartli nella Georgia centrale.

La collaborazione con il dipartimento di Geoscienze e di Geografia di Padova nasce dalla necessità di avere un inquadramento geologico delle aree di studio a supporto delle analisi archeologiche.

Fra gli obiettivi di tale coinvolgimento vi sono la realizzazione di un database geografico GIS con informazioni topografiche e telerilevate, elaborazione di carte tematiche, indagine di substrato e geomorfologia delle aree dove sorgono i siti archeologici. In questo contesto si inserisce lo studio dell'evoluzione della geomorfologia del bacino di Kartalini, bacino che comprende l'area di interesse. Questo studio costituisce senz'altro un'occasione per approfondire la conoscenza prettamente geologica di un'area relativamente poco studiata, ma con caratteristiche interessanti, quale l'influenza della neotettonica della catena del Caucaso sull'evoluzione geomorfologica.

Durante il mio lavoro di tesi ho partecipato alla missione di terreno del 2010, sviluppando poi uno studio che si articola essenzialmente in:

- sintesi sulla geologia della regione a scala macroscopica (catena montuosa del Caucaso) sulla base della bibliografia disponibile;
- telerilevamento, rilevamento di campagna e analisi della geomorfologia dell'area studio, finalizzata alla produzione di una carta geomorfologica del bacino di Kartalini;

- analisi e interpretazione della geologia dell'area con presentazione di un modello interpretativo dell'assetto strutturale, con considerazioni su come esso possa aver influenzato l'evoluzione del bacino;
- discussione su come geologia e geomorfologia dell'area hanno influenzato gli insediamenti umani nella storia.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area studio si trova nella regione di Shida Kartli, nella Georgia centrale, circa cento di chilometri a nord-ovest della capitale Tbilisi.



Fig. 1. La Georgia (da wikipedia)



Fig. 2. La regione di Shida Kartli è in viola chiaro, poco a nord-ovest di Tbilisi. L'area studio è evidenziata nel riquadro rosso.

L'area si estende dalla città di Kareli a quella di Kaspi, seguendo il corso del fiume Kura (o Mtkvari in lingua georgiana), per una lunghezza totale di circa 70 km, comprendendo il capoluogo della regione Gori e includendo, a nord di quest'ultima, parte del corso del fiume Liakhvi, importante tributario sinistro del Kura.

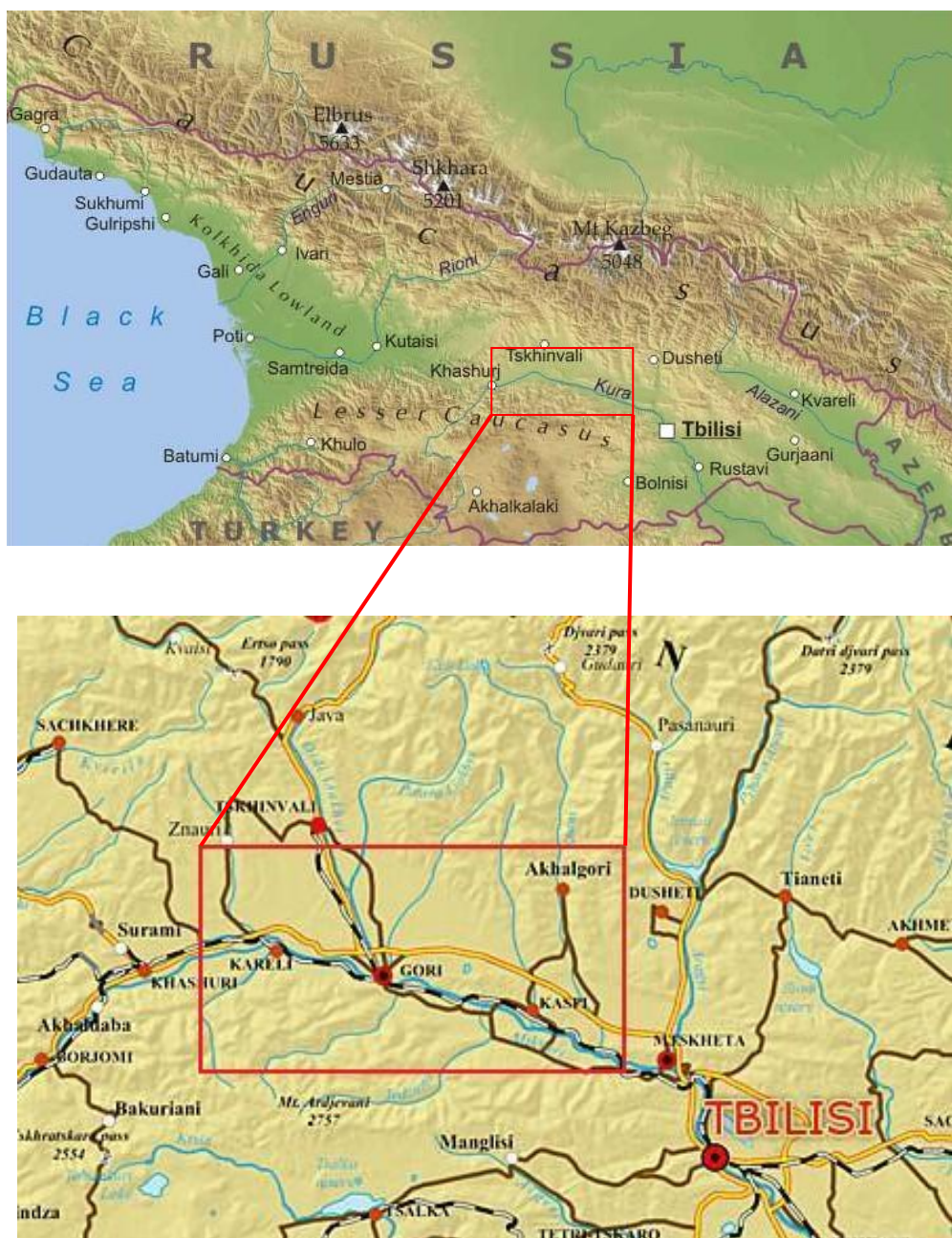


Fig.3. L'area studio è evidenziata nel riquadro rosso

Più esattamente, si è considerata una fascia di 20 km a cavallo del Kura, il corso del Liakhvi e la pianura compresa tra i due fiumi, per un totale di circa 1200 km².

Tutta quest'area è compresa fra una longitudine di 43° 40' e 44° 35', e una latitudine di 41° 50' e 42° 10'; viene dunque a trovarsi nel Transcaucaso, ovvero la zona di pianure intramontane e colline compresa tra il Gran Caucaso (Great Caucasus) e il Piccolo Caucaso (Lesser Caucasus), le due catene che costituiscono la grande regione montuosa del Caucaso (fig. 3).

Il fiume Kura è il principale fiume della Georgia, nasce in Turchia, percorre 1.520 km attraversando la Georgia da ovest verso est e, passando per la capitale Tbilisi, sfocia nel Mar Caspio, in Azerbaigian. Il fiume Liakhvi, secondo per importanza nell'area, nasce dai pendii meridionali della catena del Gran Caucaso, fluisce per 115 km verso sud fino a confluire nel Kura all'altezza della città di Gori, che è situata grossomodo al centro dell'area studio.

Altri elementi idrografici sono: il Prone, che a monte si divide in occidentale e orientale, tributario di sinistra del Kura, 20 km a monte della confluenza con il Liakhvi; il Lekhura, ulteriore tributario di sinistra 30 km a valle della confluenza medesima. In generale, i tributari di sinistra sono più importanti di quelli di destra, come lunghezza e area del bacino. Questo perché da sinistra il Kura raccoglie i corsi d'acqua che drenano tutto il versante meridionale del Gran Caucaso, mentre a destra (nella nostra area di interesse) il drenaggio si estende per una decina di km al massimo all'interno dei rilievi collinari immediatamente adiacenti che costituiscono le propaggini settentrionali del Piccolo Caucaso.

L'area consiste in generale in una pianura intramontana posta a una quota media di 650 m circa; essa è leggermente digradante verso SE, passando da 700 m al margine NW a 500 lungo il limite di SE. L'area comprende anche un settore collinare al margine meridionale (Trialeti Range, Piccolo Caucaso), i versanti sud-orientali del massiccio di Dzirula ed il Kvernaqi Range. Quest'ultimo consiste in una catena di colline (altezze massime 800-1000 m)

con andamento ESE-WNW e divide la piana in una parte, più ampia, settentrionale ed una stretta fascia meridionale dove scorre il Kura.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1. Il Caucaso

3.1.1. Introduzione

Come già accennato, la grande regione montuosa del Caucaso si divide in due catene: Gran Caucaso e Piccolo Caucaso. (fig. 3).

Il Gran Caucaso si estende per 1150 km dalla Crimea al Mar Caspio meridionale, attraverso l'istmo pontico, con andamento WNW-ESE, raggiungendo la larghezza massima di 190 km. Si mantiene al di sopra di un'altezza media di 2000 m, culminando nella sezione centro-orientale col Monte Elbrus, 5642 m. Conta, 7 cime oltre i 5000 m; alcuni di esse, (e.g. Kazbeg, ed Elbrus) sono vulcani, oggi considerati dormienti, anche se va fatto notare che sulla sommità dell'Elbrus si osservano ancora fumarole mentre le sue ultime eruzioni sono successive all'ultima glaciazione (Mitchell e Westaway, 1999). Il Gran Caucaso si è innalzato in era Cenozoica nel contesto dell'orogenesi Alpino-Himalaiana e viene inoltre considerato una delle catene montuose con il maggior tasso di uplift del pianeta (Mitchell e Westaway, 1999).

Il Piccolo Caucaso si affianca a sud del Gran Caucaso e vi corre parallelamente, a una distanza di circa 100 km, tra Mar Nero e Mar Caspio. Lungo 600 km, è caratterizzato da quote inferiori (le cime più alte non superano i 4000 m).

A dividere le due catene, vi è una regione di valli e pianure alluvionali, detta transcaucasica, attraversata dai maggiori fiumi dell'area: il Rioni, che fluisce verso ovest e sfocia nel Mar Nero; verso est scorrono il Kura/Mtkvari e l'Alazani, tributari del Mar Caspio.

Va detto che la regione del Caucaso costituisce un'area di particolare interesse geologico in quanto, mentre nell'Anatolia e nell'Iran la geometria e la cinematica delle strutture che accomodano la convergenza tra Arabia ed Eurasia è relativamente ben conosciuta, ciò non vale nella zona in cui la collisione ha

prodotto l'intero orogene del Caucaso e il Plateau turco-iraniano (Forte et al., 2010).

3.1.2. Evoluzione del Caucaso

Dal Carbonifero fino al Giurassico Medio, l'area dell'odierno Caucaso è stata teatro di subduzione della crosta oceanica prototetidea al di sotto della placca eurasiatica (Scythian Plate). Tale subduzione verso nord ha consumato completamente la crosta oceanica della Paleotetide, originatasi in epoca precambriana. Oggi si può riconoscere una cintura di vulcaniti calcocalcine dai Pirenei fino alla Cina, che segnalano quest'antico processo di subduzione (Gamkrelidze, 1986). Il margine della placca eurasiatica era situato a nord dell'attuale Caucaso, in corrispondenza del quale invece si apriva la Paleotetide. La paleogeografia del Giurassico dell'area caucasica mostra a meridione della Placca Eurasiatica il mare marginale del Gran Caucaso, un bacino nella posizione oggi occupata dalla catena montuosa, separato dalla Tetide dall'arco insulare transcaucasico; a sud del bacino della Tetide, il micro continente turco-iraniano, a sua volta separato dall'Arabia da un altro braccio della Tetide (Adamia et. al., 1977) (figg. 4 e 5).

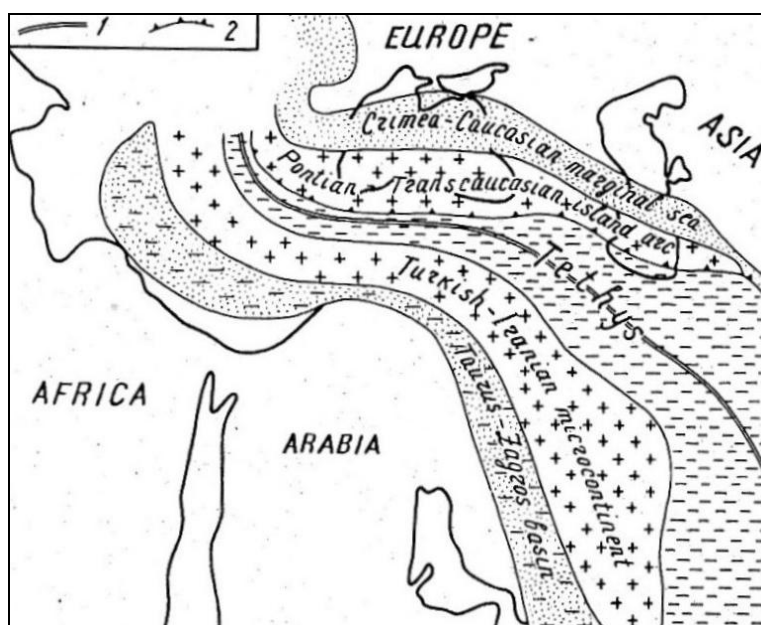


Fig. 4: paleogeografia giurassica nell'area del Caucaso. Da Adamia et al., 1977

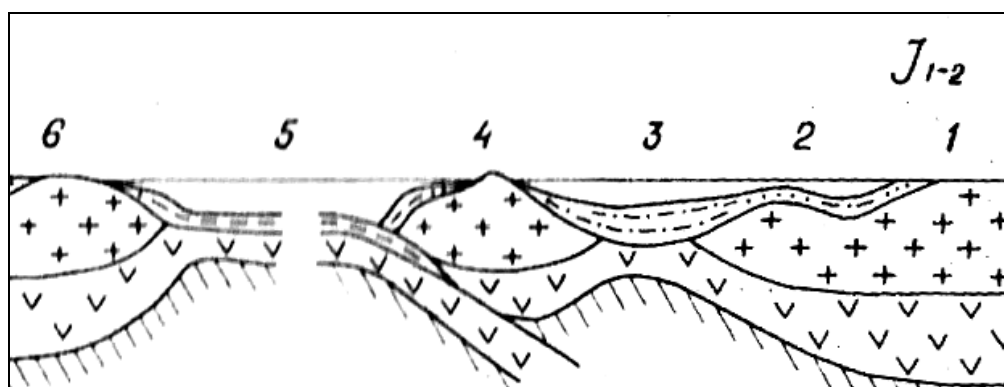


Fig.5: Schema paleogeografico/strutturale della regione del Caucaso durante il Giurassico. Da Adamia et al., 1977. 1: Russian Platform; 2, 3: Great Caucasus marginal sea; 4: Transcaucasian Island Arc; 5: oceanic basin; 6: Iranian/Turkish microcontinent.

Il margine settentrionale della Tetide si configura così come un west pacific type continental active margin, con una fossa oceanica e subduzione di crosta oceanica verso nord, mentre l'arco insulare si presentava come una catena di isole in mare basso, con sedimentazione sia terrigena (arcose) che carbonatica (calcari), e occorrenza di vulcanismo occasionale (Adamia et al., 1977).

Golonka (2004) suggerisce inoltre una fase di rifting significativo nel bacino di retroarco del Gran Caucaso, sviluppatasi nel Giurassico Superiore a causa di un effetto di slab-pull.

Dal Cretaceo Inferiore il regime tra Arabia ed Eurasia si inverte e i due continenti cominciano a convergere (Golonka, 2004). Questo porterà gradualmente all'orogenesi del Gran Caucaso.

Nel Cretaceo, mentre il bacino del Gran Caucaso permane, il microcontinente Turco-Iraniano collide con l'arco insulare Transcaucasico. L'età esatta di questa collisione è argomento di dibattito. Secondo Adamia et al. (1977) essa è avvenuta nel Cretaceo Medio, circa 90 Ma fa; Golonka (2004) afferma che il Piccolo Caucaso (facente parte del microcontinente Turco-Iraniano) si suturò alla regione Transcaucasica tra il Cretaceo e il Paleocene; Gamkrelidze (1986) pone la collisione del microcontinente Turco/Iraniano con il margine meridionale dell'Eurasia (e quindi il Transcaucaso) nel Senoniano, 85 Ma fa circa. Successivamente a questa collisione, la subduzione della Paleotetide

prosegue: al di sotto del vecchio microcontinente Turco/Iraniano ora suturatosi con l'arco insulare Transcaucasico (Adamia et al., 1977, Gamkrelidze, 1986). La paleogeografia è quindi cambiata sostanzialmente (fig. 6). In particolare un neoformatosi blocco del Piccolo Caucaso/Transcaucaso va a separare il bacino del Gran Caucaso dalla Tetide. A nord e a sud rispettivamente, permangono la Scythian Plate e l'Arabia. Con l'inizio dell'era Terziaria, la crosta oceanica della Tetide comincia a essere subdotta e consumarsi sotto il Piccolo Caucaso, che ora si configura come un grande arco insulare.

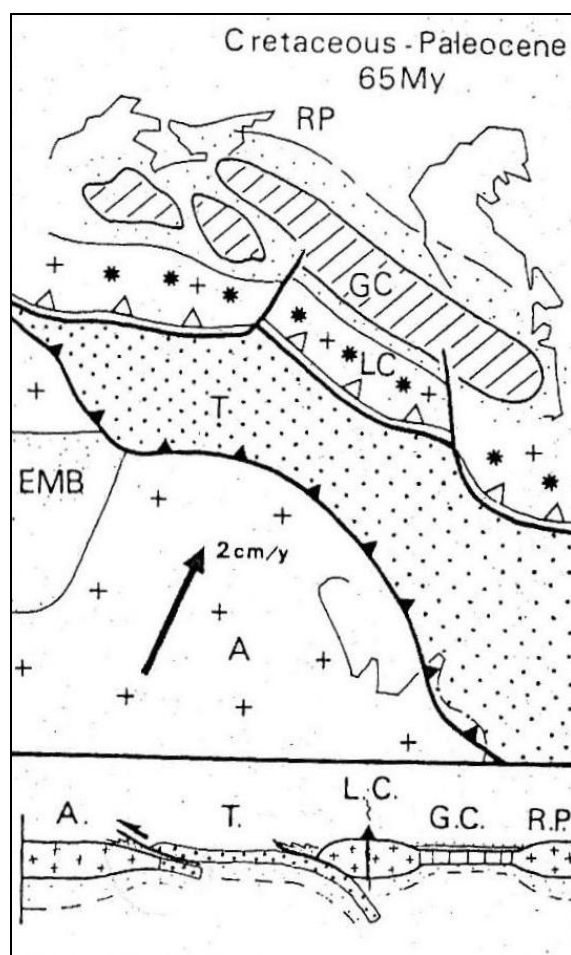


Fig. 6: Geodinamica dell'area del Caucaso al limite Cretaceo/Terziario. Il puntinato fitto indica la crosta oceanica della Tetide; il tratteggio il mare marginale del Gran Caucaso, con una parte di bacino emersa indicata dal puntinato leggero. Le crocette indicano i blocchi continentali, gli asterischi sono vulcani; i triangoli vuoti segnalano subduzione, quelli riempiti obduzione. Sono inoltre delineate le coste attuali del Mar Nero e del Mar Caspio. Da Philip et al., 1989. A=Arabia, GC=Greater Caucasus, LC=Lesser Caucasus, RP=Russian Platform, T=Tethys.

Gamkrelidze (1986) suggerisce una fase di tettonogenesi alpina alla fine del Cretaceo, con uplift particolarmente concentrato lungo il Piccolo Caucaso ed accumulo dei primi flysch.

Nel Paleogene, abbiamo la configurazione generale è quindi come segue:

- ✓ Al centro del micro continente Turco-Iraniano, ora unito al Transcaucaso e contenente il Piccolo Caucaso, si sviluppa un marcato vulcanismo calcalalino, con chimismo da intermedio ad acido (cintura andesitica del Piccolo Caucaso) che coinvolge anche le regioni di Adjara-Trialeti, adiacenti all'area di studio (Adamia et al., 1977, Gamkrelidze, 1986).
- ✓ Nell'Oceano del Gran Caucaso, sempre presente a ridosso della Scythian Plate, si sviluppano rift basaltici e si depositano sedimenti flyschoidi. Questo bacino continuò a costituire, fino alla completa consunzione della crosta oceanica della Tetide, il bacino di retroarco della subduzione in atto a sud della regione Transcaucasica. (Adamia et al., 1977, Gamkrelidze, 1986).
- ✓ Sotto il Piccolo Caucaso vengono distinte due diverse subduzioni, una meridionale, dove la Tetide è gradualmente consumata, una settentrionale, legata al residuo della vecchia crosta oceanica tra il Piccolo Caucaso e il Transcaucaso ancora in sprofondamento. La subduzione meridionale, in corrispondenza della quale più tardi si sarebbero formati gli attuali Zagros, fu particolarmente attiva nell'Eocene (Gamkrelidze, 1986).
- ✓ La Tetide assume le caratteristiche di un mare di tipo Mediterraneo, chiuso tra due continenti in convergenza tra loro (Adamia et al., 1977).

Partendo dalla situazione appena descritta, durante il terziario si sviluppa l'orogenesi del Gran Caucaso.

In particolare la completa consunzione della Tetide, avvenuta dall'Oligocene fino a 10 Ma, prelude la collisione tra l'Arabia ed il microcontinente di cui fanno parte Piccolo Caucaso e Transcaucaso (fig. 7). In tal modo si innalzano i monti Zagros, attraverso i quali la spinta dell'Arabia si trasferisce al blocco

Turchia - Piccolo Caucaso - Iran. Il movimento verso nord di questo blocco provoca la chiusura del bacino del Gran Caucaso e la collisione con la Scythian Plate. In questo modo, la subduzione meridionale della crosta oceanica della Tetide si evolve in una collisione continentale che provoca l'uplift di un'amplessima regione che include i monti Zagros, Piccolo e Gran Caucaso. Il primo segmento dell'orogene del Gran Caucaso che si formò fu quello centrale che subì uplift significativi a partire dalla fine del Miocene (Ershov et al., 1999, Golonka, 2004, Philip et al., 1989; Mitchell e Westaway, 1999).

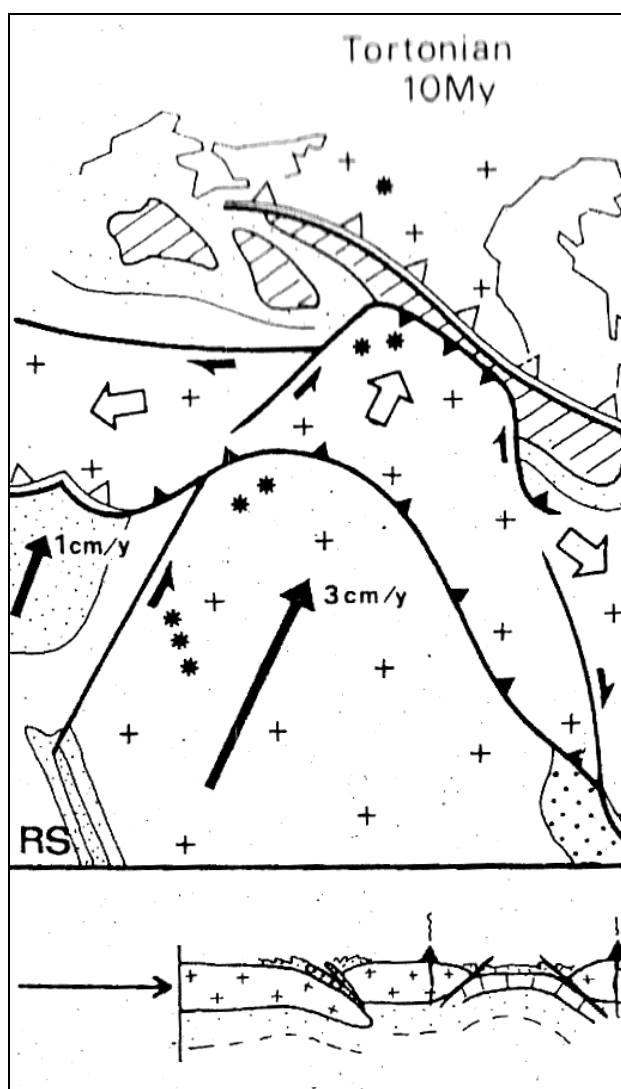


Fig. 7: da Philip et al., 1989. 10 Ma fa la Tetide è chiusa e il Piccolo Caucaso è in movimento verso nord.

I simboli sono gli stessi di fig. 6

La chiusura del bacino del Gran Caucaso e la formazione della catena collisionale sono processi protrattisi a lungo (per quasi tutto il terziario, a partire dal Paleocene -Golonka, 2004-) e che implicarono una tettonica complessa. Di fatto si trattò di un'inversione tettonica del bacino, che costituiva la zona di retroarco alle spalle del Piccolo Caucaso, che come già detto costituiva l'arco legato alla subduzione verso N della Tetide (Forte et al., 2010). La crosta di questo bacino si consumò probabilmente attraverso doppia subduzione doppia (fig. 7), sia verso nord, al di sotto della Scythian Plate, che verso sud, al di sotto del Transcaucaso (Golonka, 2004, Mitchell e Westaway, 1999); parti relitte del bacino oggi costituiscono il Mar Nero a ovest ed il Mar Caspio Meridionale ad est. La sua chiusura completa della Tetide nella parte centrale e la collisione continentale che ne conseguì furono la causa principale dell'orogenesi del Gran Caucaso (Golonka, 2004; Mitchell e Westaway, 1999) (fig. 8). Sia Ershov et al. (1999) che Golonka (2004) situano l'inizio della principale fase collisionale nel Miocene Medio, facendo risalire a questo periodo la completa consumazione del bacino. Tuttavia un mare marginale ha probabilmente continuato ad esistere fino al Pliocene (Mitchell e Westaway, 1999). Dal Miocene Superiore in poi comunque il bacino, via via riempito da depositi di flysch e molasse, si evolve nella catena montuosa a pieghe e thrust, con deformazione Alpina delle placche Russa e Transcaucasica (Adamia et al., 1977; Ershov et al., 1999).

Mentre nella sua regione centrale il mare marginale del Gran Caucaso si chiudeva, come già accennato ai lati persistevano due suoi frammenti, gli odierni Mar Nero e Mar Caspio. Questo è stato reso possibile dall'espulsione laterale dei microcontinenti Turco e Iraniano (rispettivamente ad ovest e ad est) cominciata nel Miocene Medio e tuttora in corso (fig. 8). Ai lati dell'orogene, con l'evolversi della collisione, si formano nuove trascorrenze a partire da 3,5 Ma che lo separano dalle microplacche in espulsione e i frammenti laterali di crosta oceanica preservata (Philip et al., 1989; Ershov et al., 1999; Golonka, 2004).

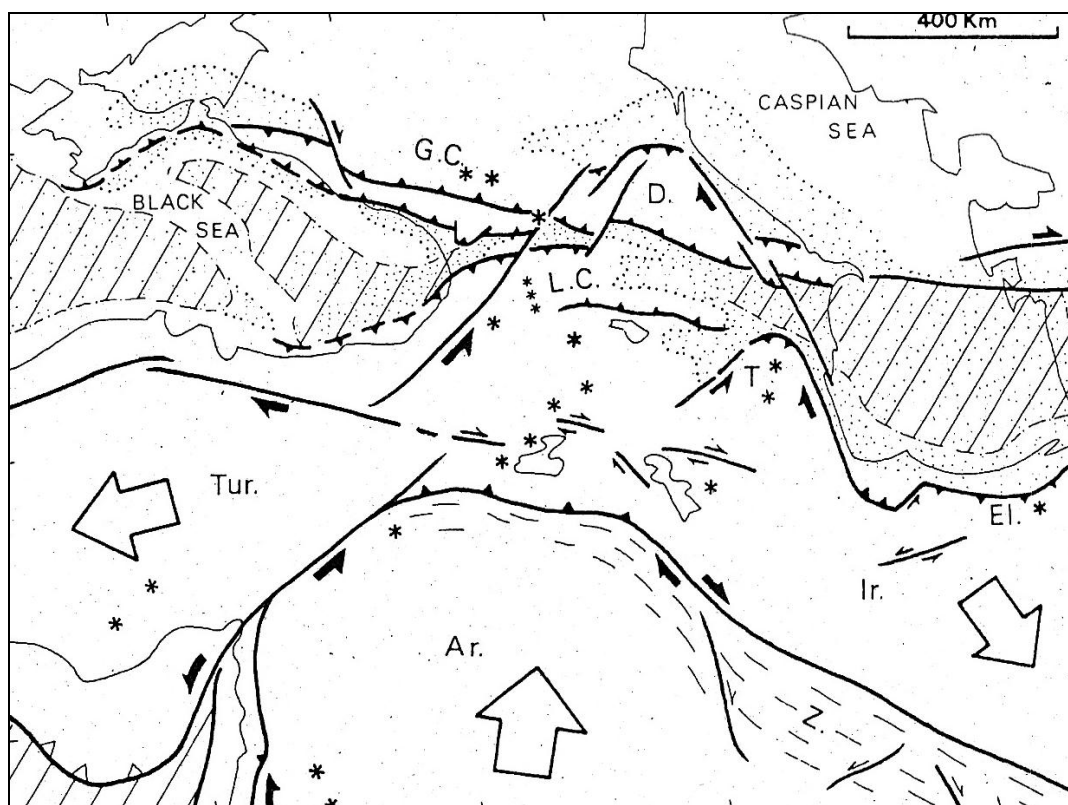


Fig. 8: da Philip et al., 1989: tettonica attuale dell'area del Caucaso. L'Arabia converge con l'Eurasia, Turchia e Iran sono espulsi ai lati, nel Mar Nero e nel Mar Caspio sono conservati lembi di crosta oceanica (linee oblique). Al centro avviene la collisione continentale. (*=vulcani, GC=Gran Caucaso, LC=Piccolo Caucaso, Z=Zagros)

Circa 5 Ma fa i bacini Transcaucasici (Rioni e Kura), ovvero le depressioni rimanenti tra Gran Caucaso e Piccolo Caucaso, subiscono il passaggio da ambiente marino a continentale. Nell'avampaese settentrionale dell'orogene (l'attuale depressione del Manyč) invece un braccio di mare che collegava Mar Nero e Mar Caspio rimase un po' più a lungo, per scomparire comunque nel Pliocene (Philip et al., 1989, Mitchell e Westaway, 1999).

Il Gran Caucaso centro-orientale si configura quindi come il prodotto di una collisione continentale, mentre il Gran Caucaso occidentale, è ancora un margine attivo al di sotto del quale subduce la crosta oceanica del bacino del Gran Caucaso (Golonka, 2004).

L'uplift e l'erosione più significativi nel Gran Caucaso sono avvenuti solo a partire dal tardo Pliocene, tanto che nel Caucaso orientale troviamo scogliere

fossili con associati sedimenti del tardo Miocene a 3.500 m di altitudine (Forte et al., 2010, Mitchell e Westaway, 1999).

Le fasi di abbandono completo del mare nell'area Caucasica negli ultimi 5 Ma sono state regolate dagli stadi di regressione e trasgressione del Mar Nero e del Mar Caspio, con dinamiche interne dato il loro isolamento dagli oceani. Tra 5.2 e 3.3 Ma vi fu generale regressione di entrambi i mari (fase Kimmerian); successivamente, fino 1.8 Ma, vi fu una fase di trasgressione prevalentemente del Mar Caspio (fase Akchagyl). In tempi più recenti, sempre il Mar Caspio ha avuto varie fluttuazioni di ordine minore, presumibilmente connesse con le glaciazioni. Un'ultima trasgressione importante ebbe luogo tra 15.000 e 12.000 anni fa, durante la quale il Mar Caspio ha forse scavalcato il paleostretto di Manyk, nell'avampaese settentrionale, fino a ricollegarsi al Mar Nero (Mitchell e Westaway, 1999).

Attualmente, l'Arabia si sta muovendo con una velocità di 15/16 mm/anno verso N10°W relativamente alla stabile Eurasia). La convergenza a ovest di longitudine 41° viene accomodata principalmente dall'espulsione verso W dell'Anatolia, ad est di longitudine 48° dai thrust negli Zagros; nella parte centrale, dalle strutture caucasiche (Forte et al., 2010, Ershov et al., 1999, McKenzie, 1972; Jackson e McKenzie, 1984; Jackson, 1992; Triep et al., 1995).

In conclusione, la collisione continentale in atto nel Caucaso è un fenomeno relativamente giovane che può quindi permetterci di osservare questo processo nelle sue fasi iniziali, aiutandoci a comprenderne l'evoluzione specialmente se confrontato con catene montuose in stadi più avanzati (Forte et al., 2010, Philip et al., 1989)

3.1.3. Struttura attuale del Caucaso

Le unità che oggi compongono la regione del Caucaso sono, da nord a sud (Philip et al., 1989):

- la Scythian Plate;
- il Gran Caucaso, orientato in direzione WNW-ESE;

- due bacini sedimentari, detti transcaucasici, cioè quello di Rioni, che si estende nel Mar nero, e quello del Kura/Mtkvari che raggiunge il Caspio meridionale
- infine, il Piccolo Caucaso.

In sostanza, il moto antiorario della Placca Araba attorno ad un polo euleriano situato nel Mediterraneo orientale causa la spinta verso la Scythian Plate di un blocco a cuneo (figg. 8 e 9), costituito dall'altopiano armeno/Piccolo Caucaso. Il moto antiorario di questo blocco avviene attorno ad un polo sito nel Mar Nero (Forte et al., 2010).

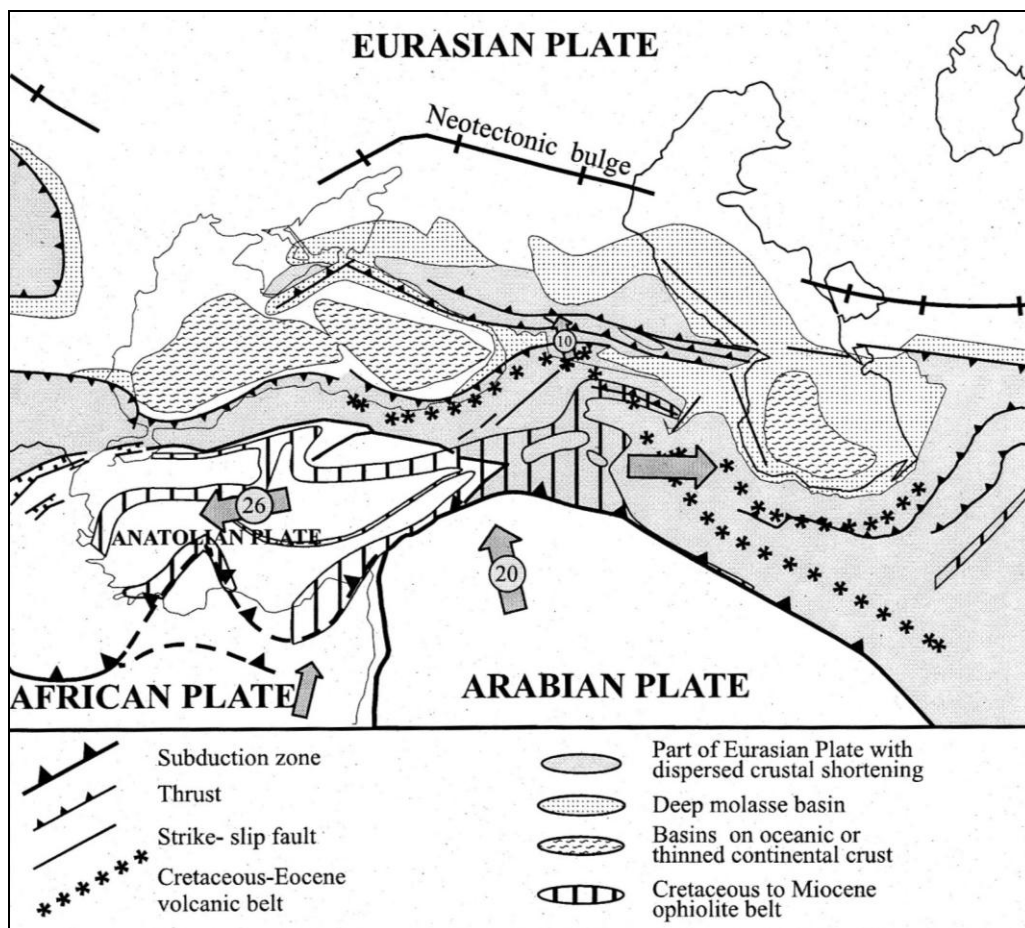


Figura 9, da Ershov et al., 1999: assetto tettonico attuale del Caucaso. Le velocità delle placche sono definite sulla base di osservazioni geodetiche (Reilinger et al., 1997)

Questo “cuneo” è delimitato ai fianchi da grandi trascorrenze (fig. 8, 9); sinistre ad ovest (la faglia Borjomi/Kazbeg, presso l’area di studio, ne è un segmento) che in Turchia si collegano con le faglie Nord ed Est Anatoliche; destre ad est, fra cui la principale è la faglia transforme West Caspian (Forte et al., 2010, Philip et al., 1989). Queste trascorrenze separano la zona orogenetica del Caucaso dalle regioni laterali, con crosta oceanica preservata nel Mar Nero a ovest e nel Mar Caspio meridionale a est. Inoltre, esse isolano il blocco in collisione dalle microplacche Turca e Iraniana, soggette all’espulsione laterale che accomoda la convergenza Arabia/Eurasia (vedi anche capitolo 3.1.2. e fig. 8 e 9).

Il Piccolo Caucaso e il Plateau Anatolico si comportano di fatto come blocchi rigidi (meno di 2 mm/a di deformazione interna); ciò implica che almeno 8-14 mm/a di convergenza tra Arabia ed Eurasia nella regione Caucasica sono accomodati a N del Piccolo Caucaso ed in particolare dal raccorciamento nel Gran Caucaso, localizzato attualmente lungo il suo fronte meridionale. Ciò rende proprio l’area del Transcaucaso teatro della maggiore attività tettonica (Forte et al., 2010). Secondo lo stesso autore, collisione e deformazione relativa del segmento orientale del Caucaso si sono propagate da ovest verso est.

In sintesi, il movimento verso N dell’Arabia, è accomodato da trascorrenze destre lungo direttrici NW, sinistre lungo direttrici NE e da un accorciamento nella catena del Gran Caucaso, molto probabilmente localizzato lungo il suo fronte meridionale (Forte et al., 2010).

Il raccorciamento totale avvenuto attraverso l’intera regione del Caucaso (Gran Caucaso e Piccolo Caucaso) è stimato essere tra i 200 e i 400 km, di cui 130-200 ascrivibili al solo Gran Caucaso (Forte et al., 2010).

Gli spessori massimi di crosta nella regione del Caucaso sono verosimilmente raggiunti in corrispondenza del Gran Caucaso, dove sono stimati pari a 60 km (Mitchell e Westaway, 1999).

Tutta la regione del Caucaso è tuttora tettonicamente attiva, come testimoniato dalla sismicità (fig. 10), in special modo i fianchi settentrionale e meridionale del Gran Caucaso (Philip et al., 1989).

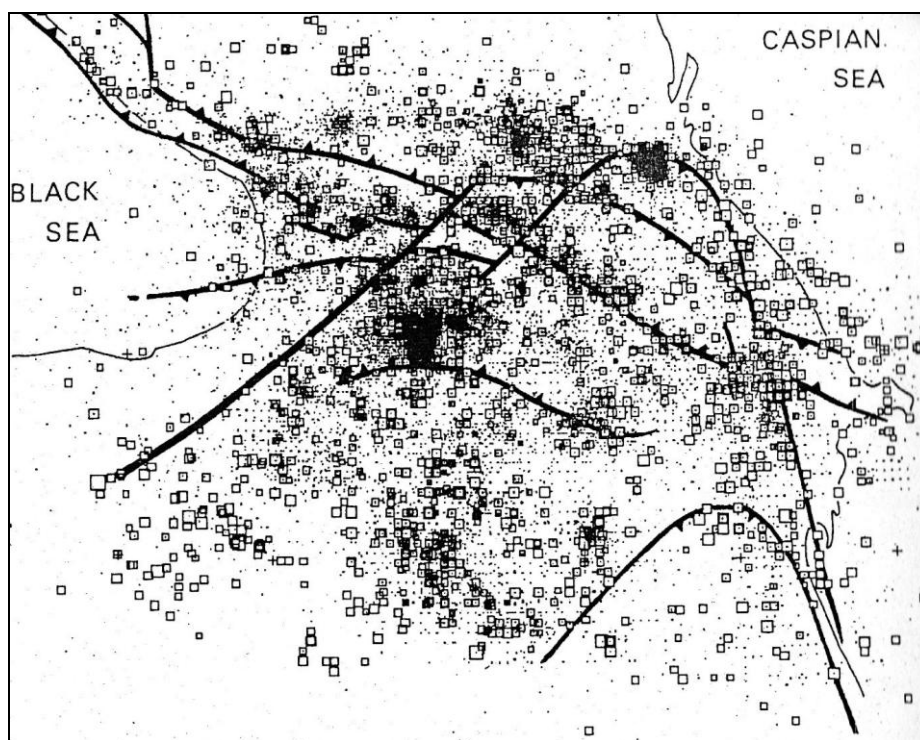


Fig. 10, da Philip et al., 1989. Sismicità e principali lineamenti nel Caucaso: sono rappresentati gli epicentri di terremoti storici fin dal 1700 e di terremoti registrati strumentalmente dal 1954 al 1984; i dati provengono da un catalogo prodotto da sismologi georgiani e pubblicato nel *Seismological Bulletin of the Caucasus di Tbilisi*.

3.1.3.1. La catena del Gran Caucaso

Il Gran Caucaso si può dividere in orogene del Gran Caucaso in senso stretto, bacini di avampaese a nord e bacini molassici transcaucasici a sud.

I bacini di avampaese giacciono sulla placca eurasiatica e sono divisi in un bacino occidentale e uno orientale, separati dall'Alto di Stavropol. Sono caratterizzati dall'essere asimmetrici, con depocentro spostato verso l'orogene.

I bacini transcaucasici sono il bacino del Rioni a ovest e del Kura/Mtkvari a est, confinati a sud dalle montagne del Piccolo Caucaso e aperti rispettivamente sul Mar Nero e sul Mar Caspio (Ershov et al., 1999). Sono interessati sovente da strutture compressive sud-vergenti (Ershov et al, 1999, Philip et al., 1989).

Il Gran Caucaso si trova lungo il margine meridionale deformato della Scythian Plate, facente parte della Placca Eurasiatica. In particolare, si tratta di una catena principalmente dalla struttura vergente a sud. Possiamo riconoscere due

placche entrate in collisione, la Scythian Plate e la Transcaucasica (che costituisce il “cuneo” spinto a nord dall’Arabia). Il bordo meridionale della Scythian Plate è esumata nella parte centro-settentrionale dal thrust principale sud-vergente; quello settentrionale della Placca Transcaucasica è sormontato dalla Scythian Plate stessa e ricoperta dai sedimenti deformati e piegati dei pendii meridionali dell’orogene (Ershov et al., 1999). Si tratta dei sedimenti inizialmente depositati del bacino che divideva le due placche (l’Oceano del Gran Caucaso), costituenti attualmente una successione spessa fino a 8 km (Forte et al., 2010) di molasse, da bacinali a subaeree (Ershov et al., 1999). Il fianco nord della catena è caratterizzato da tettonica relativamente più semplice, consistendo in un monoclinale digradante dolcemente verso l’entroterra russo, con locali retro-thrusting nord-vergenti. Il fronte meridionale della catena è, secondo Forte (2010), il sistema di strutture più attivo di tutta la regione caucasica.

La catena del Gran Caucaso va divisa inoltre in un segmento orientale e uno centro-occidentale (Ershov et al., 1999).

Il tipo di deformazione e orogenesi del segmento occidentale del Gran Caucaso è ancora legato al processo di subduzione della crosta oceanica dell’antico mare marginale del Gran Caucaso sotto il cratone eurasiatico. Lungo la catena vi è anche importante vulcanismo, dal Monte Elbrus al Monte Kazbeg (Philip et al., 1989) (figg. 3, 8). Il segmento orientale invece, privo di vulcanismo, è evidentemente il risultato della collisione continentale (Golonka, 2004. Philip et al., 1989).

A separarli, l’importante faglia trascorrente sinistra Borjomi/Kazbeg. Si tratta di un importante lineamento con andamento NNE, collegato al sistema di faglie anatolico ed associata ad un rigetto stimato in 90 km (Philip et al., 1989) e che fa parte del sistema di faglie che separa il blocco transcaucasico in collisione dalle regioni adiacenti. Esso si è nucleato 5 Ma fa (età della maggiore riorganizzazione dell’orogenesi), ha dunque assorbito un tasso di deformazione di circa 2 cm/a (Philip et al., 1989).

3.1.3.2. Bacino transcaucasico del Kura/Mtkvari

Tra la relativamente recente catena del Gran Caucaso e quella più antica del Piccolo Caucaso vi sono aree depresse, che costituiscono l'avampaese meridionale del Gran Caucaso stesso. Il bacino del Kura è una di esse. Esso segue tutto il segmento orientale del Caucaso fino ad aprirsi sul Mar Caspio.

Le unità affioranti sono principalmente costituite da flysch e molasse terziarie. Più controversa è invece la natura del substrato profondo del bacino, per alcuni costituito da parte dell'arco insulare transcaucasico risalente al Giurassico/Cretaceo (Nadirov et al., 1997), per altri definito come una continuazione della crosta oceanica del Mar Caspio meridionale (Zonenshain e Le Pichon, 1986).

Come tutti i bacini sedimentari ai fianchi della catena del Gran Caucaso, quello del Kura ha una profondità crescente verso i margini della catena stessa, mentre nella zona centrale (presso cui per altro si trova l'area studio di questo lavoro) la subsidenza è limitata o nulla (fig. 11) (Ershov et al. 1999).

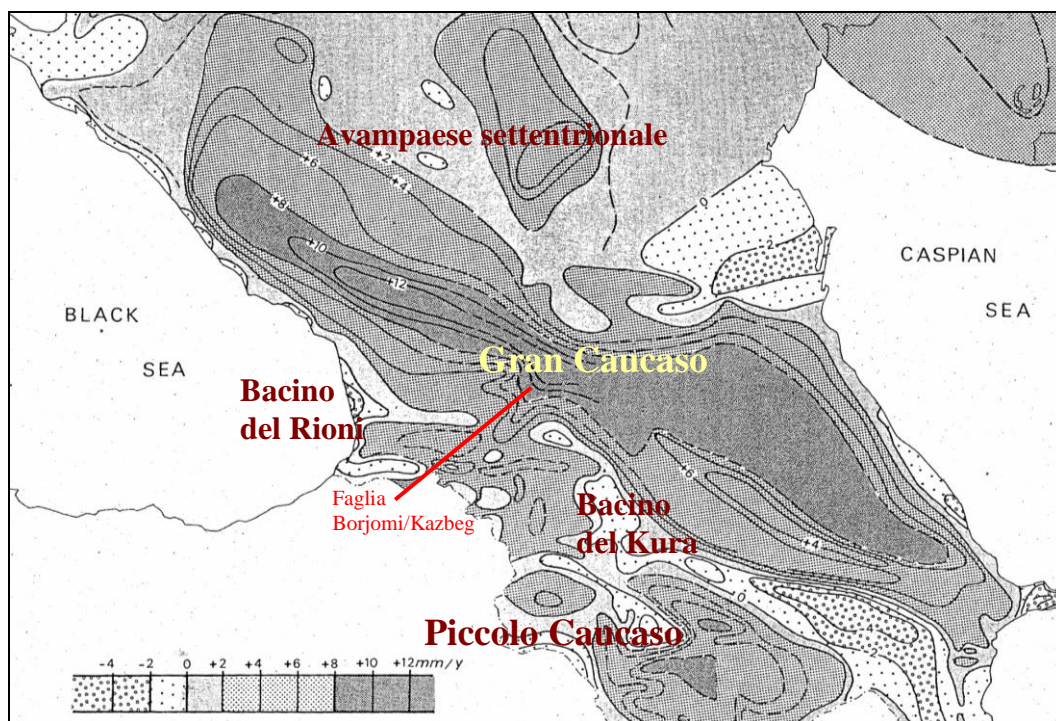


Fig. 11, da Philip et al., 1989. Tassi di uplift o subsidenza nel Caucaso, in base a misurazioni strumentali, da Lilienberg (1980).

Nel bacino del Kura gli spessori maggiori di sedimenti terziari e quaternari risultano essere di una decina di Km km e si trovano vicino lo sbocco nel Mar Caspio (Forte et al., 2010, Mitchell e Westaway, 1999).

Al bordo settentrionale del bacino si trova la Kura fold and thrust belt, la cui espressione superficiale è una serie di creste e valli circa parallele allo strike del Gran Caucaso. Si tratta di una zona di thrusting comprendente una serie di pieghe e thrust sud-vergenti che deformano flysch e molasse di età da eocenica a quaternaria. I rilievi collinari corrispondono infatti ad anticlinali sud-vergenti associate a relativi thrust. La Kura fold and thrust belt costituirebbe di fatto la struttura che avrebbe accomodato la maggior parte (30%/40%, i.e. ca. 25 km) della convergenza Arabia/Eurasia sin dal Pliocene Inferiore (5 ma) ($25 \text{ km}/5\text{ma}=5 \text{ mm/a}$), assumendo quindi un ruolo cruciale nell'evoluzione geodinamica dell'area (Forte et al., 2010). Inoltre essa sembra mostrare un'attività deformativa significativa laddove il fronte della catena del Gran Caucaso è pressoché inattivo; ciò implicherebbe che questa catena collinare rappresenti un avanzamento della parte frontale del Gran Caucaso. L'assenza di sedimenti deformati sintettonicamente più antichi di 5 Ma indicherebbe che l'attività della Kura Fold and Thrust Belt non possa esser iniziata precedentemente (Forte et al., 2010).

3.1.3.3. la catena del Piccolo Caucaso

Il Piccolo Caucaso è principalmente costituito dall'arco insulare formatosi fra il Cretaceo e il Miocene, a causa della subduzione della crosta oceanica della Tetide, avvenuta lungo il lato meridionale dell'arco stesso. Tale arco si è evoluto in una catena montuosa nord-vergente. I bacini transcaucasici costituiscono l'area dove dal punto di vista tettonico le strutture a vergenza opposta del Piccolo e Gran Caucaso si fronteggiano. L'attività neotettonica lungo il Piccolo Caucaso sarebbe costituita da compressione lungo strutture in direzione est/ovest, trascorrenze lungo direttrici nord-ovest/sud-est destre e nord-est/sud-ovest sinistre e faglie normali orientate nord/sud (Forte et al., 2010).

3.2. Inquadramento geologico dell'area studio

L'area si trova al margine occidentale del bacino transcaucasico del Kura/Mtkvari, dove abbiamo le molasse del Gran Caucaso (5/8 km di successioni sedimentarie cenozoiche –Forte et al., 2010, Mitchell e Westaway, 1999).

Comprende quasi nella sua interezza il Kartalini Basin (Philip et al., 1989; Forte et al., 2010) (fig. 12), un bacino sedimentario impostatosi su un basso strutturale formatosi nel contesto dell'orogenesi del Caucaso e costituente un segmento del bacino del Kura.

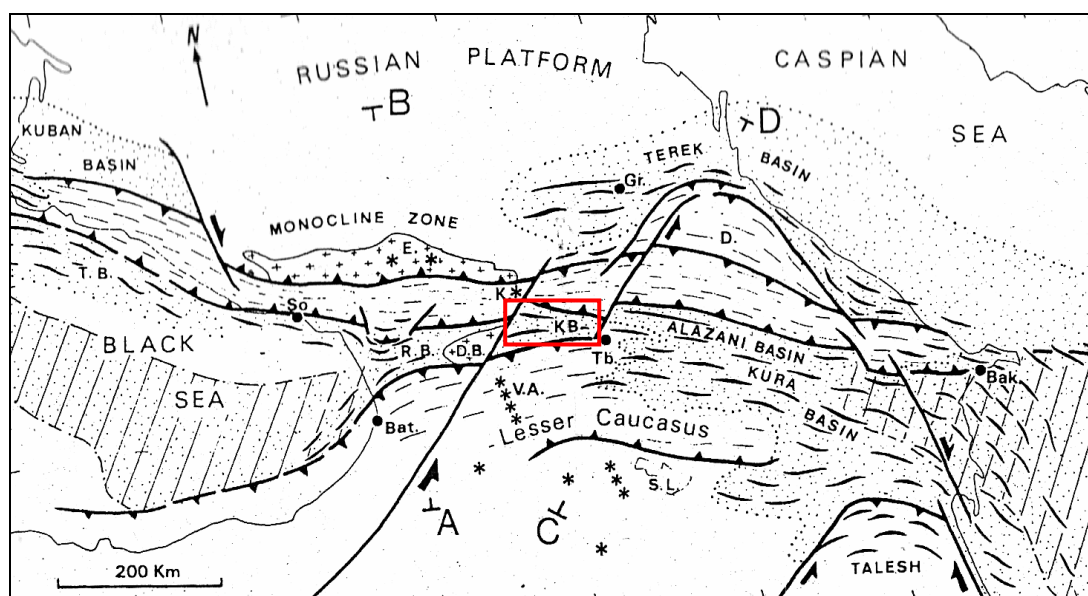


Fig. 12, da Philip et al., 1989: schema geologico strutturale del Caucaso. Il bacino di Kartalini è evidenziato nel riquadro. *=vulcani neogenici e quaternari, KB=Kartalini Basin, DB=Dzirula Massif; Tb=Tbilisi; K=Kazbeg

Il fiume Kura segue il margine meridionale del bacino. È delimitato a sud da thrust nord-vergenti, ascrivibili al complesso di strutture del Piccolo Caucaso; a nord dal fronte meridionale del Gran Caucaso. Ad ovest si innalza il massiccio dello Dzirula, massiccio Transcaucasico dove affiorano le più antiche rocce della Georgia (consistenti in intrusioni e gneiss paleozoici); a dividere il bacino dal massiccio, la faglia trascorrente Borjomi-Kazbeg. Ad est, il bacino si

restringe fino a diventare una valle larga pochi km; qui le strutture del Gran e del Piccolo Caucaso si avvicinano fino quasi a incontrarsi, poco a nord di Tbilisi.

Le unità di substrato roccioso che si incontrano in affioramento ai margini del bacino sedimentario sono in gran parte terziarie, costituite da flysch e molasse con facies sia terrigene che, in misura minore, carbonatiche. Alcune unità di sedimenti del Cretaceo Superiore affiorano presso il fronte del Piccolo Caucaso, dove peraltro troviamo anche vulcaniti da cretacicche a eoceniche.

Lo spessore di sedimenti quaternari nel bacino di Kartalini arriva fino a 200/250 m nella sua zona centrale (Philip et al., 1989, Environmental Impact Assessment, RDMRDIG, 2009), sedimenti pressoché esclusivamente alluvionali, appartenenti al Kura e ai suoi affluenti. In profondità non si esclude la presenza di unità marine, in ogni caso subordinate ai corpi alluvionali, causate dalle fluttuazioni quaternarie del Mar Caspio (Mitchell e Westaway, 1999).

In sintesi la successione stratigrafica comprende molasse terziarie che costituiscono un substrato di poco meno di una decina di km di potenza ricoperto da prevalenti alluvioni quaternarie per uno spessore che arriva fino a 200 m.

L'area studio comprende un segmento del Kvernaqi Range (fig. 13), una fascia di colline lunga circa 75 km, larga 7/8 Km e con quote fino a 1000 m. Si estende sul lato sinistro del fiume Kura tra il fiume Prone e l'Aravici e che occupa una posizione pressoché centrale nel bacino di Kartalini.

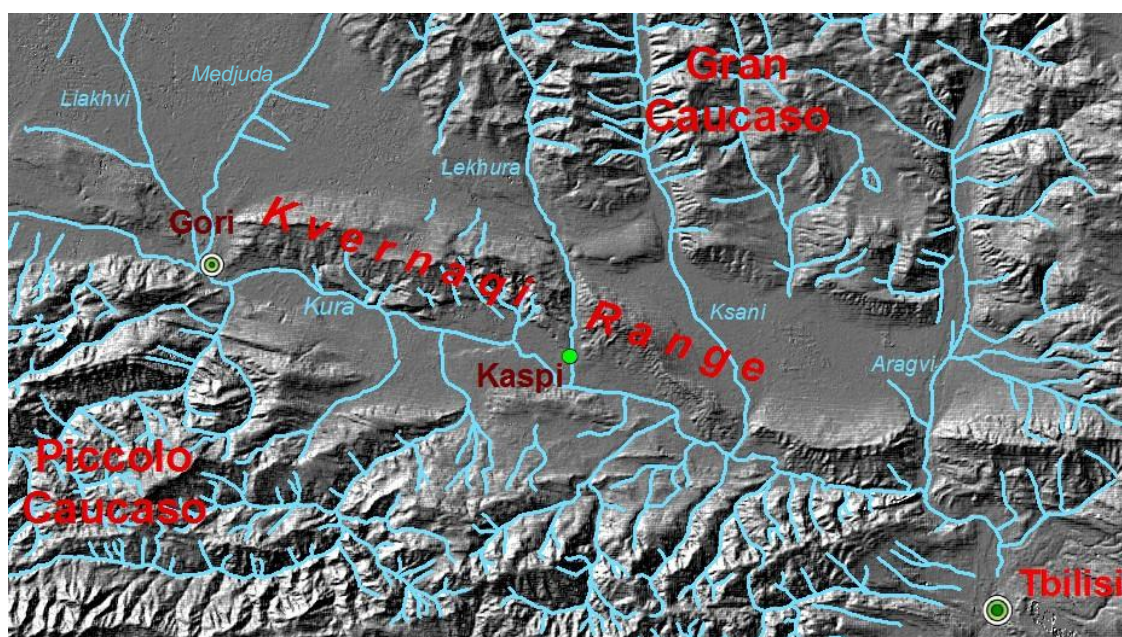


Fig. 13: ASTER GDEM, idrografia, principali centri abitati e catene montuose.

Il Kvernaqi Range è diviso in 4 parti dalle incisioni dei fiumi Liakhvi e Medjuda, Lekhura, Ksani da ovest a est (il segmento tra il Ksani e l'Aragvi non è compreso nell'area di studio). È caratterizzato da un fianco meridionale nettamente più ripido di quello settentrionale; gli strati sedimentari che costituiscono il rilievo sono prevalentemente immergenti a nord ($10^{\circ}/25^{\circ}$) e rendono la catena di colline un tipico rilievo monoclinale (com. pers. Zura Janelidze). Tali sequenze sedimentarie costituite da conglomerati, arenarie, argille, fanno parte della molassa terziaria; il fatto che anche le unità più recenti, di età pliocenica, siano coinvolte nei piegamenti che hanno verosimilmente causato la formazione della fascia collinare, dimostra che essa non si è sollevata prima della fine del Terziario.

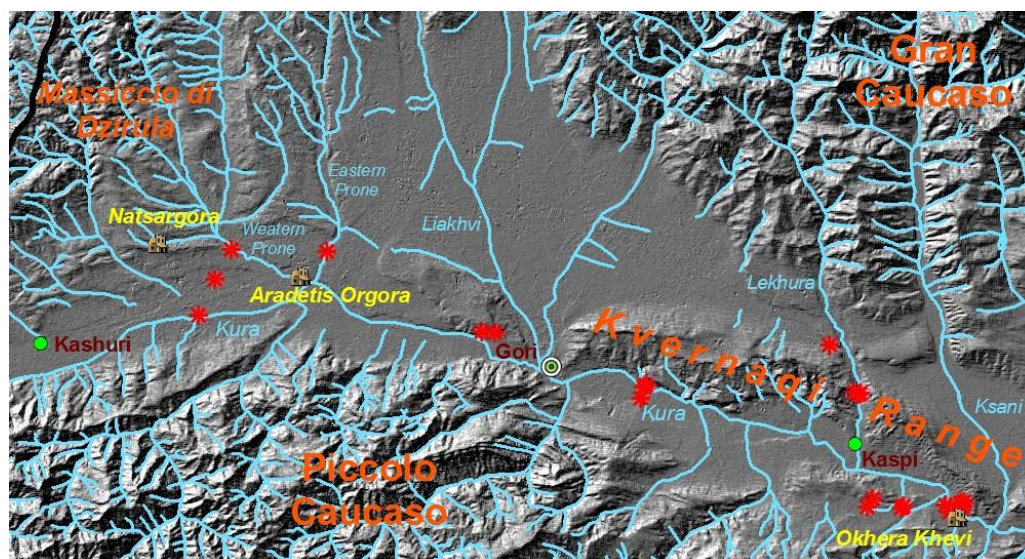
Tutta l'area studio è attualmente soggetta a uno stress compressivo in direzione NNW-SSE (Philip et al., 1989).

4. GEOMORFOLOGIA

4.1. Introduzione

Nel'area di studio si trovano i seguenti elementi geomorfologici: la piana alluvionale del Kura e dei suoi tributari, formatasi nella depressione del bacino di Kartalini; i primi versanti collinari ai margini della piana, verso il Piccolo Caucaso a sud e il massiccio di Dzirula a ovest; la catena del Kvernaqi Range (vedi capitolo 3.2) fino al fiume Ksani.

Nell'area di studio si trovano anche i siti che sono stati presi in considerazione dalla missione archeologica italo-georgiana, cioè, da ovest a est, Natsargora, Aradetis Orgora, Kurgan di Okhera Khevi (fig. 14).



LEGENDA



-  sito archeologico
-  punto_stop

Fig. 14: ASTER GDEM, idrografia, principali centri, siti archeologici e punti stop.

Brevemente, riporto le caratteristiche sommarie dei luoghi indicati:

- Natsargora: si trova nel distretto di Kashuri, in prossimità dell'omonimo villaggio, in un area collinare a settentrione del fiume Kura. I livelli archeologici ritrovati vanno dall'Antica Età del Bronzo, al Bronzo Tardo per poi passare all'Età del Ferro e al periodo Classico.
- Aradetis Orgora: si trova a 3 km circa da Agara, a poche centinaia di metri dalla confluenza del Prone Occidentale nel Kura. È caratterizzato da tre principali livelli archeologici, rispettivamente della Antica Età del Bronzo, della Tarda Età del Bronzo e dell'Età Romana.
- Kurgan di Okhera Khevi: sorgono a qualche km a sudest di Kaspi, sul terrazzo più recente del Kura che si trova in destra idrografica, a circa 200 m dal fiume stesso. Si tratta di alcune costruzioni funerarie risalenti all'età del Bronzo.

4.2. Materiali e Metodi

4.2.1. Introduzione

Allo scopo di produrre una carta geomorfologica di un'area così ampia (oltre 1.200 Km²) e produrre una carta geomorfologica, si è scelto di cartografare l'area attraverso telerilevamento e fotointerpretazione, in ambiente GIS; la realtà di terreno è stata successivamente verificata con stop mirati in campagna, che permettessero di confermare e approfondire la natura degli elementi geomorfologici più significativi.

Ci si è avvalsi quindi di foto aeree, foto satellitari, immagini Landsat e ASTER, carte topografiche russe scala 1:100.000 e 1:50.000, il tutto integrato in un database GIS. Per cartografare la geomorfologia e compilare la legenda, si è fatto riferimento alla simbologia usata nei rilevamenti per la carta geomorfologica d'Italia 1:50.000, integrata con quella della carta geomorfologica della Pianura Padana 1:250.000 MIUR del 1997, facendo

opportune modifiche per meglio rappresentare le peculiarità dell'area di questo studio.

La campagna sul terreno ha avuto luogo tra il 12 settembre e il 23 settembre, ed ha affiancato la missione archeologica svoltasi nello stesso periodo. È consistita in una raccolta dati tradotta in 22 stop distribuiti in tutta l'area, presso i siti archeologici e in alcuni punti chiave lungo il Kura, lungo i suoi maggiori affluenti (Prone, Liakhvi, Lekhura) e sul Kvernaqi Range (fig. 14).

4.2.2. Telerilevamento

Immagini Corona: Il Programma Corona consisteva in una serie di satelliti strategici statunitensi prodotti e gestiti dal Central Intelligence Agency Directorate of Science & Technology con sostanziale assistenza dalla U.S. Air Force. I satelliti Corona erano utilizzati per sorveglianza fotografica dell'Unione Sovietica, della Repubblica Popolare Cinese e altre aree, dal giugno 1959 al maggio 1972. I primi satelliti lanciati orbitavano ad un'altezza fra i 165 Km e 460 Km e le foto avevano una risoluzione di 7,5 m circa. Le immagini ottenute invece con gli ultimi satelliti KH-4B, lanciati a partire dal 1969, hanno invece una risoluzione di 1,8 m, grazie alla strumentazione più avanzata e alle loro traiettorie ad altezze leggermente inferiori (circa 150 km). I satelliti erano equipaggiati con doppie fotocamere panoramiche con lunghezza focale di 60 cm e speciali pellicole da 70 mm.

Le immagini usate sono della serie della missione lanciata il 10 settembre 1971; consistono in foto in bianco e nero del sistema KH-4B (1,8 m di risoluzione a terra), disponibili oggi da archivi di immagini satellitari declassificate dell'U.S. Geological Survey. L'alta risoluzione e una buona copertura globale le rendono particolarmente interessanti per la fotointerpretazione ed il telerilevamento.

Una volta geocodificate in ambiente GIS ed effettuato un semplice stretching del contrasto regolando manualmente gli istogrammi, sono state lo strumento principale per l'analisi geomorfologica in remoto. Fig. 15 e 16.

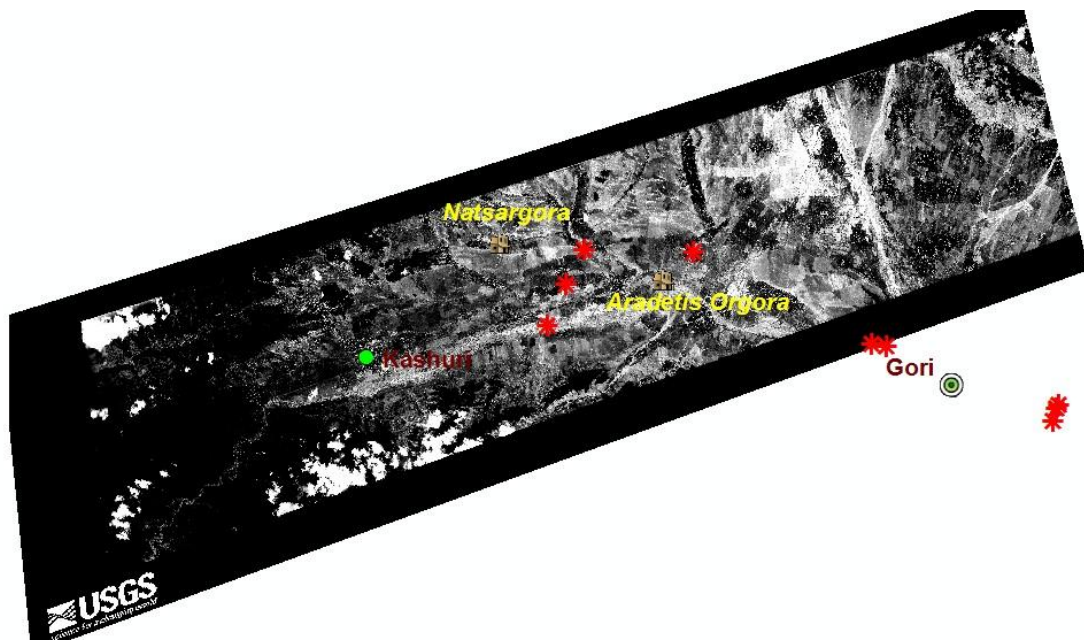


Fig. 15: Immagine Corona ortorettificata



Fig. 16: Veduta di Aradetis Orgora su immagine Corona. Un meandro abbandonato del fiume Kura in basso a sinistra, canali attivi in basso a destra.

Immagini Landsat: immagini acquisite nel giugno 2001 dal sensore ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) montato sulla piattaforma Landsat 7, e dotate di risoluzione di 30 m/pixel per le bande 1-2-3-4-5-7, 60 m/pixel per la banda 6, e 15 m per il dato pancromatico (banda 8). Le principali caratteristiche di satelliti e sensori sono riportate in tabella 1.

Landsat 7

THE DETAILS

Launch Date: April 15, 1999
 Status: operational despite Scan Line Corrector (SLC) failure May 31, 2003
 Sensors: ETM+
 Altitude: 705 km
 Inclination: 98.2°
 Orbit: polar, sun-synchronous
 Equatorial Crossing Time: nominally 10 AM (± 15 min.) local time (descending node)
 Period of Revolution: 99 minutes; ~14.5 orbits/day
 Repeat Coverage: 16 days

ETM+ Bands

Band Number	μm	Resolution
1	0.45-0.515	30 m
2	0.525-0.605	30 m
3	0.63-0.69	30 m
4	0.75-0.90	30 m
5	1.55-1.75	30 m
6	10.4-12.5	60 m
7	2.09-2.35	30 m
8	0.52-0.9	15 m

Tab. 1: <http://landsat.gsfc.nasa.gov>; caratteristiche del Landsat 7

Le immagini sono state elaborate in ambiente GIS. Si è lavorato su immagini RGB composte con le bande del Landsat 3, 2, 1 e 7, 4, 2; poi ricampionate con la banda del pancromatico per ottenere una risoluzione di 15 m/pixel, infine è stato applicato uno stretch manipolando gli istogrammi. Sono servite per la geocodifica delle immagini Corona, le carte topografiche e le foto aeree.

DEM: (Digital Elevation Model) tratto da ASTER-GDEM (vedi fig. 14). ASTER-GDEM è un modello digitale del terreno (DEM) con una copertura da

66°N a 66°S dell'intero pianeta terrestre distribuito da METI-NASA e scaricabile gratuitamente dal sito internet <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>. In particolare si tratta di un mosaico di tavole derivate dalle due stereocoppie di ASTER (banda 3N e 3B). ASTER-GDEM ha una risoluzione di 29m/pixel con una precisione di 20m (95% di confidenza) per le altezze e 30m (95% di confidenza) per le coordinate piane.

Carte topografiche: carte militari dell'Ex Unione Sovietica 1:50.000 e 1:100.000, prodotte negli anni '70/'80 usando la proiezione Gauss-Kruger, nel sistema di coordinate Pulkovo 1942 sull'ellissoide Krassovsky 1940. Disponibili a partire dalla caduta dell'Unione Sovietica, sono state acquistate online e appositamente georeferenziate. Fig. 17.



Fig. 17: Aradeti Orgora nella carta topografica 1:50.000

Ortofoto aeree: messe a disposizione dall'università di Tbilisi e probabilmente scattate negli 50/60, anche queste geocodificate in ambiente GIS. Fig. 18.



Fig. 18: Kura, Kurgan di Okhera Khevi, stop 2 e 3 in foto aerea

Il software GIS usato per realizzare il database e produrre la carta geomorfologica è stato Esri ® ArcGis™ 9.3.

4.2.3. Rilievi di terreno

Per ognuno dei 22 stop effettuati in campagna sono stati realizzati i seguenti rilievi:

- Acquisizione del punto GPS.
- Osservazioni e analisi dell'ambiente circostante e in panoramica (e. g. definizione delle tipologie di letto fluviali, verifica di presenza di conoidi, terrazzi, glacis, presenza di affioramenti o di substrato subaffiorante).

- Analisi speditiva del sedimento superficiale e/o dell'affioramento di substrato (litologia, granulometria, tessitura, osservazione di strutture sedimentarie quali strati, laminazioni).
- Dove possibile, log stratigrafico sull'affioramento o sulla sezione di deposito sciolto, o eventualmente sondaggio con trivella a mano.
 - In sedimento sciolto si sono valutati: granulometria e tessitura con triangolo USDA, colore Munsell, reazione all'HCl, eventuale contenuto fossilifero o di resti vegetali, presenza di noduli, laminazioni. Su sezioni esposte, osservazione di eventuali strutture come stratificazioni, canali.
 - In affioramento di substrato si sono determinati: litologia, tessitura, struttura, giacitura degli strati, colore Munsell, HCl, contenuto fossilifero.

Per quanto concerne la reazione all'acido cloridrico, si è stabilita una scala da 0 a 4.

0: nessuna effervescenza, non visibile

1: leggera effervescente, appena visibile

2: effervescenza evidente

3: effervescenza evidente, bolle sopra il millimetro di diametro

4: massima effervescenza, su litologie pressoché esclusivamente calcaree

4.3. Risultati

4.3.1. Rilievi di terreno

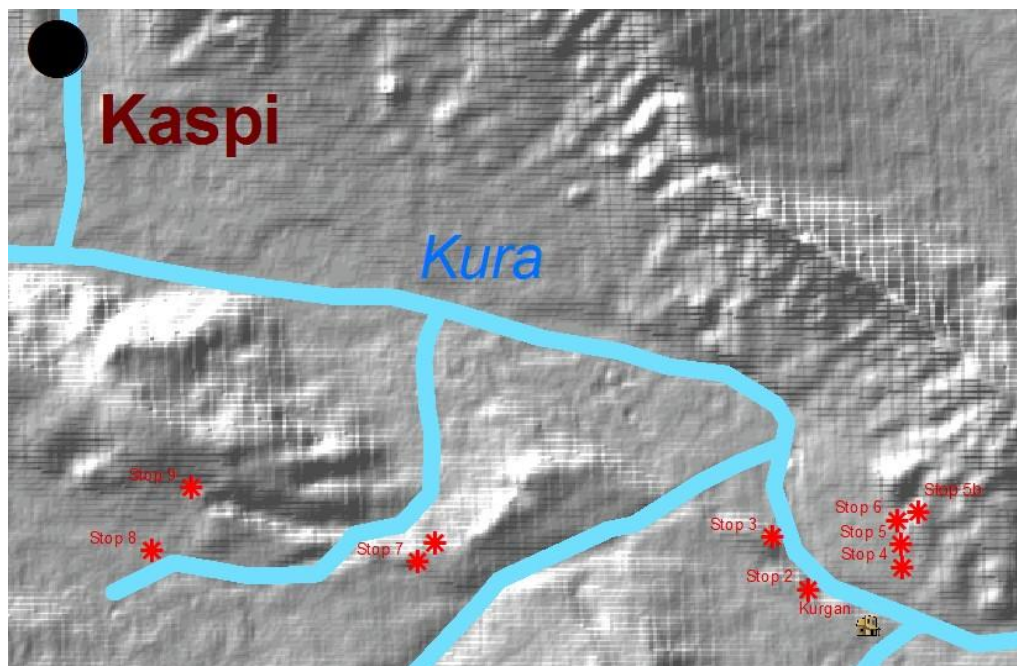


Fig. 19: stop dall'1 all'8

Stop 1: Kurgan di Okhera Khevi e terrazzo alluvionale

Coordinate: 44°31'24,723"E 41°52'13,763"N

Quota: 500

I Kurgan di Okhera Khevi si trovano su un terrazzo alluvionale del Kura, in destra idrografica. Attualmente, tale terrazzo è esposto sia all'incisione da parte di modesti corsi d'acqua che all'erosione per dilavamento superficiale, processi che conferiscono un aspetto ondulato alla superficie su cui sorgono i Kurgan stessi. L'assetto topografico suggerisce che il terrazzo non è stato più interessato dalle piene del Kura dopo il suo abbandono. Tutta l'area appare comunque profondamente alterata dall'azione antropica, con accumuli di pietre e solchi e costruzioni abbandonate legate soprattutto alle attività agricole

durante il periodo sovietico. Nel sito sono stati effettuati 4 sondaggi con la trivella a mano (fig. 20, 21 e 22, foto 1).

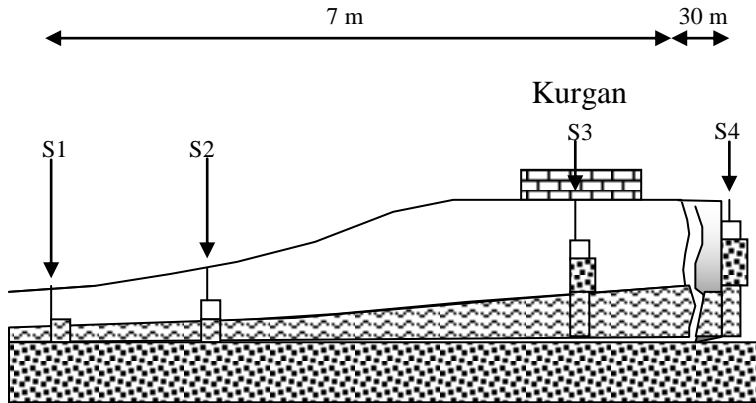
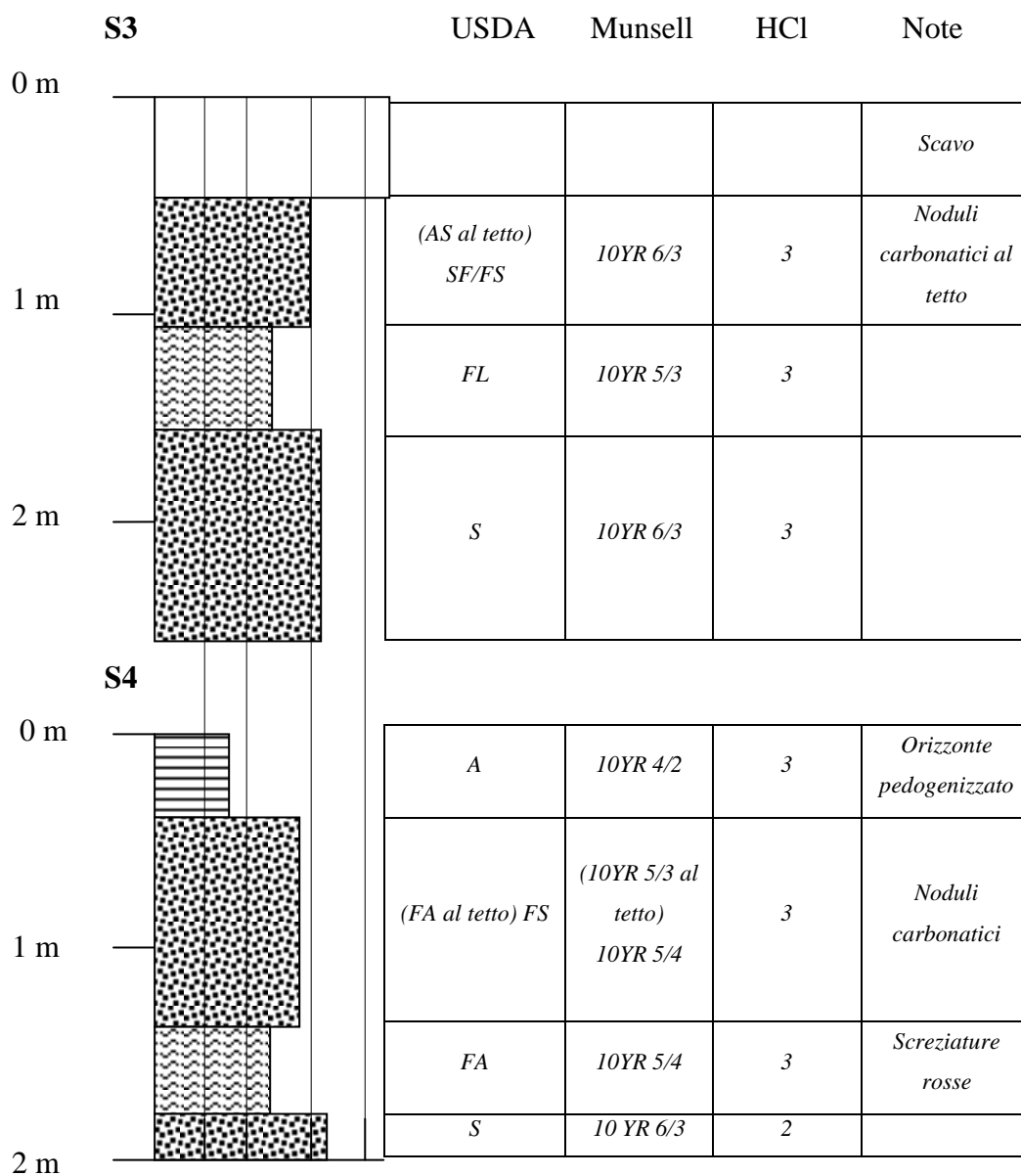


Fig. 20: Schema riassuntivo dei sondaggi effettuati presso il Kurgan di Okhera Khevi. Nord verso sinistra; in tale direzione, il terreno digrada verso il fiume Kura.

		USDA	Munsell	HCl	note
S1	0 m	A	10YR 4/2	3	Poco humus
		AL/FL	10YR 6/3	3	
	1 m	S	10YR 6/3	3	Clasti di rocce femiche
S2	0 m				Scavo
		AL/FL	10 YR 6/3	3	
	1 m	S	10 YR 6/3	3	

A L Sf Sm Sg G

Fig. 21: log dei sondaggi 1 e 2 effettuati presso i Kurgan di Okhera Khevi



A L Sf Sm Sg G

Fig. 22: log dei sondaggi 3 e 4 effettuati presso i Kurgan di Okhera Khevi



Foto 1: carota di sedimento estratta con il sondaggio 4 presso i Kurgan.

I sondaggi mostrano che i Kurgan sono stati seppelliti da circa 30 cm di sedimento prevalentemente limoso e argilloso di probabile natura colluviale, scarsamente pedogenizzato e con scarsa presenza di humus, come dimostrato dal suo colore piuttosto chiaro.

Al di sotto dei Kurgan, ad una profondità di circa 1 o 2 m a seconda delle ondulazioni del piano campagna, è stato rilevato uno strato suborizzontale spesso perlomeno 1 m composto da sabbia media, su cui si sono depositati strati di sedimento più fine (da sabbie fini limose a limi argillosi), soggetti ad un erosione diversa a seconda dei punti (nella parte più bassa dello scavo sono

presenti solo 30 cm, mentre a monte questi depositi superano il metro e mezzo) dando luogo ad una superficie topografica ondulata.

Stop 2: sezione di terrazzo inciso dal Kura presso Okhera Khevi, destra idrografica Kura

Coordinate: 44°30'57,954"E 41°52'25,828"N

Quota: 495

Una sezione rilevata sull'orlo del terrazzo del Kura, a circa duecento metri dal Kurgan ha permesso di caratterizzare meglio la stratigrafia dell'area (fig. 23, foto 2, 3 e 4).

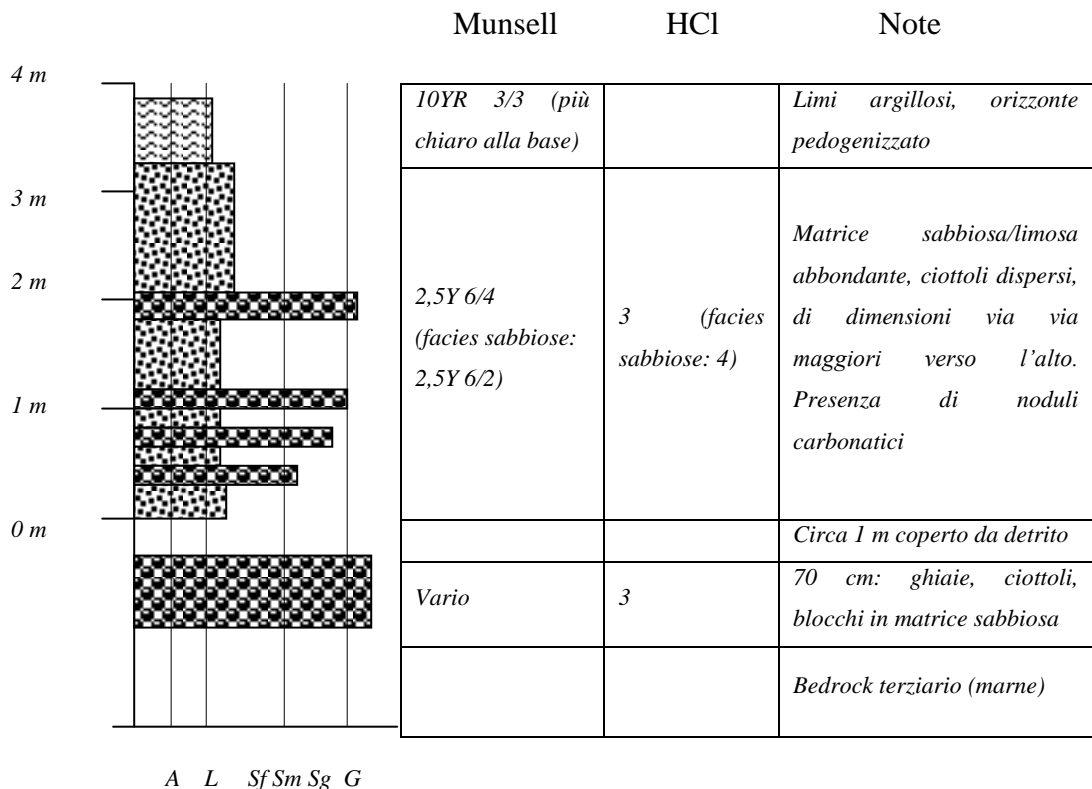


Fig. 23: la sezione sul bordo del terrazzo di destra del Kura, presso Okhera Khevi.



Foto 2: stop 2, foto della sezione rilevata



Foto 3: Sezione stratigrafica al top del terrazzo alluvionale

Il letto del Kura si trova circa 15 m più basso del terrazzo con i Kurgan. Il corso d'acqua incide anche il bedrock terziario, costituito da una sequenza clastica di marne ed arenarie.

Sull'affioramento è evidente il contatto tra la sequenza clastica e la sovrastante successione alluvionale (foto 4). Lo spessore di deposito sciolto sovrastante il bedrock è di appena pochi metri. Nella successione si distingue un'unità basale, composta da ghiaie e ciottoli depositati verosimilmente nel paleoalveo del Kura, il quale era posto ad un livello più alto rispetto all'alveo attuale), seguita da alternanze di limi con ciottoli dispersi e letti decimetrici di ghiaie e ciottoli. Al top della sequenza vi è un livello limoso/argilloso più fine, coperto da circa 30 cm di suolo (colore 10YR/3/3). Ciò suggerisce un trend di tipo fining-upward. La sequenza fa pensare ad un graduale abbandono del terrazzo da parte del fiume, probabilmente associato ad un'incisione sempre più profonda. Le

scarpate laterali del fiume evidenziano segnali d'inizio instabilità, anch'esse indice di un assetto erosivo del corso d'acqua in questo settore. Il completo abbandono del terrazzo quindi è già avvenuto nell'Antica Età del Bronzo, quando furono edificate le strutture funerarie. Allontanandosi dal Kura, sono conservati spessori maggiori di sciolto, come si deduce dalla pendenza del terreno e dai sondaggi eseguiti a ridosso dei Kurgan.

L'analisi di questa sezione, coadiuvata dai risultati dei sondaggi, ci permette quindi di affermare che il sito archeologico è ubicato su 4-5 metri di depositi (limi, limi sabbiosi e sabbie) che coprono depositi di ciottoli e blocchi ben arrotondati e più antichi, al di sotto dei quali troviamo il substrato terziario, con giaciture generalmente immergenti verso nord-nordest (35/70, 25/60, 25/65).



Foto 4: Il contatto tra la sequenza clastica e l'unità alluvionale ciottolosa



Foto 5: il letto del Kura, ben al di sotto dell'orlo del terrazzo alluvionale, infornato nel bedrock.



Foto 6: ciottoli embricati nell'alveo attuale del Kura

Stop 3: seconda sezione sul terrazzo in destra idrografica del Kura

Coordinate: 44°30'41,548"E 41°52'43,355"N

Quota: 525

Da questo punto, più alto di circa una ventina di metri rispetto ai precedenti, si può osservare il corso del Kura (foto 7). Il letto del fiume in quest'area è infornato, avendo inciso il bedrock per 5-10. Il corso d'acqua ha un andamento wandering, con sinuosità 1,1 e occasionali side bars e longitudinal bars di

depositi di ciottoli e blocchi (foto 6); la composizione di questi ultimi è variegata: arenarie, ma anche vulcaniti basiche, molto probabilmente provenienti dal Piccolo Caucaso, dove affiorano le unità di origine vulcanica. La sezione studiata evidenzia una situazione del tutto analoga a quella dello stop precedente (foto 8 e 9, fig. 24), ma più alta di 20 m.



Foto 7: Il Kura presso Okhera Khevi

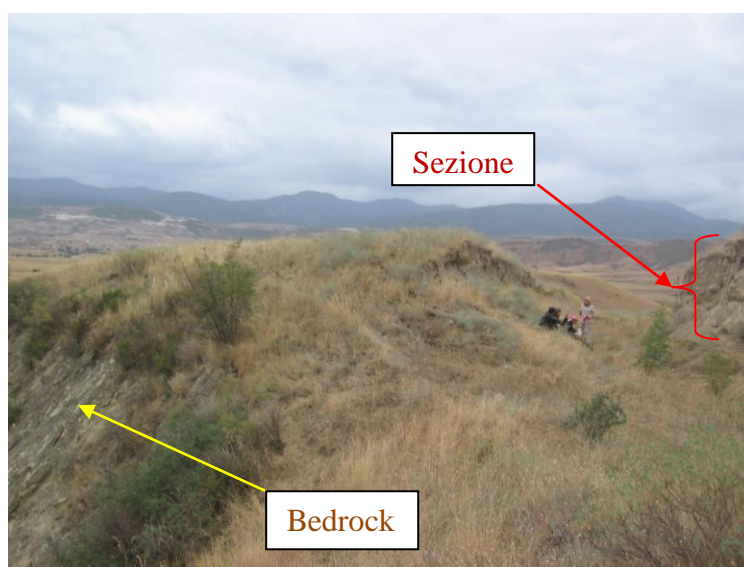


Foto 8: Stop 3. Sulla sinistra affiora il substrato roccioso, sulla destra abbiamo la sezione di sciolto rilevata.



Foto 9: sezione allo stop 3

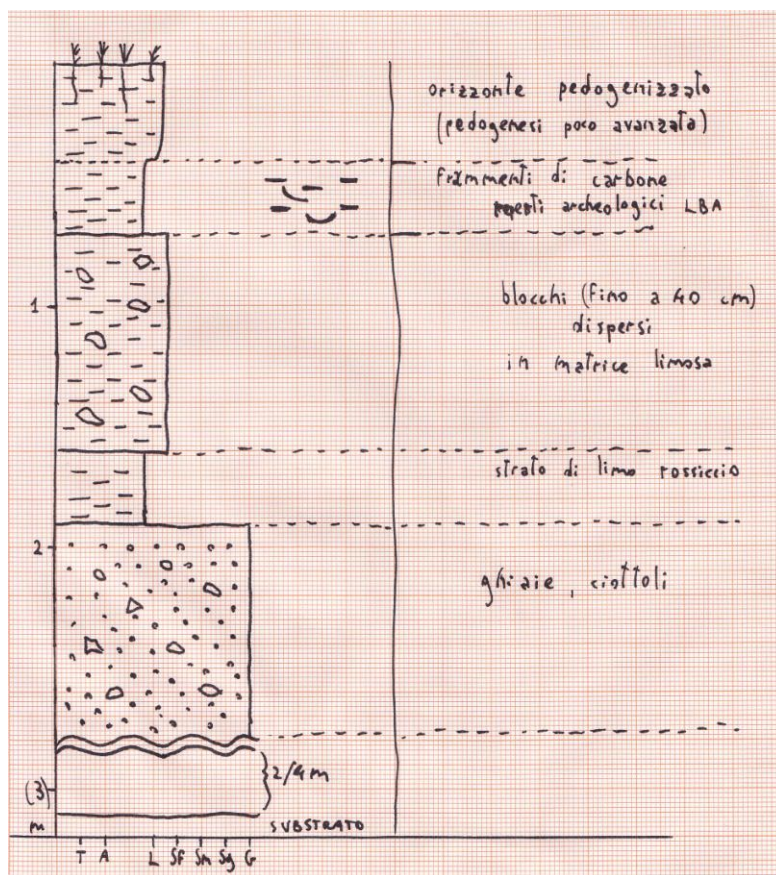


Fig. 24: log stratigrafico della sezione allo stop 3.

Lo spessore di pochi metri di materiale sciolto sopra il bedrock è quindi confermato. La quota del bedrock è invece variabile, forse a causa dell'erosione differenziale, o forse a causa di fenomeni di neotettonica.

Stop 4: terrazzo in sinistra idrografica Kura

Coordinate: 44°31'40,673"E 41°52'33,664"N

Quota: 520

Anche il terrazzo in sinistra idrografica del Kura è stato rilevato. Anch'esso presenta l'orlo una decina di metri al di sopra del corso d'acqua. Lo spessore dei depositi alluvionali sopra il substrato sembra aumentare verso monte.



Foto 10: sezione di depositi del terrazzo in sinistra idrografica del Kura.

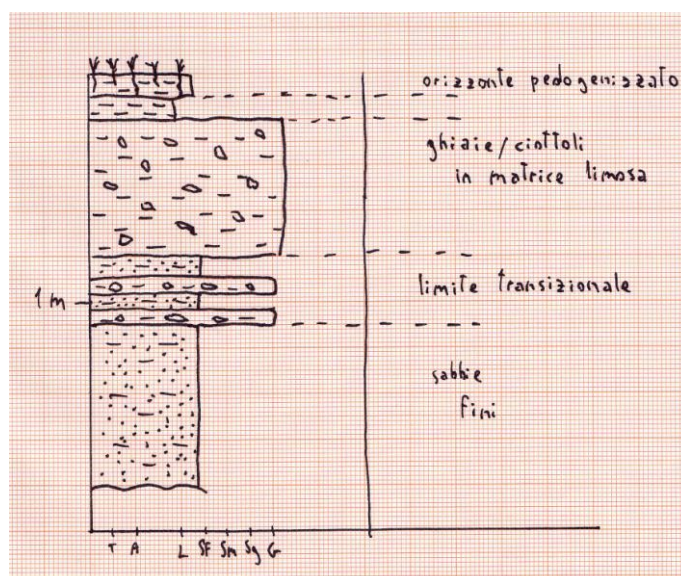


Fig. 25: log stratigrafico della sezione della foto 10.

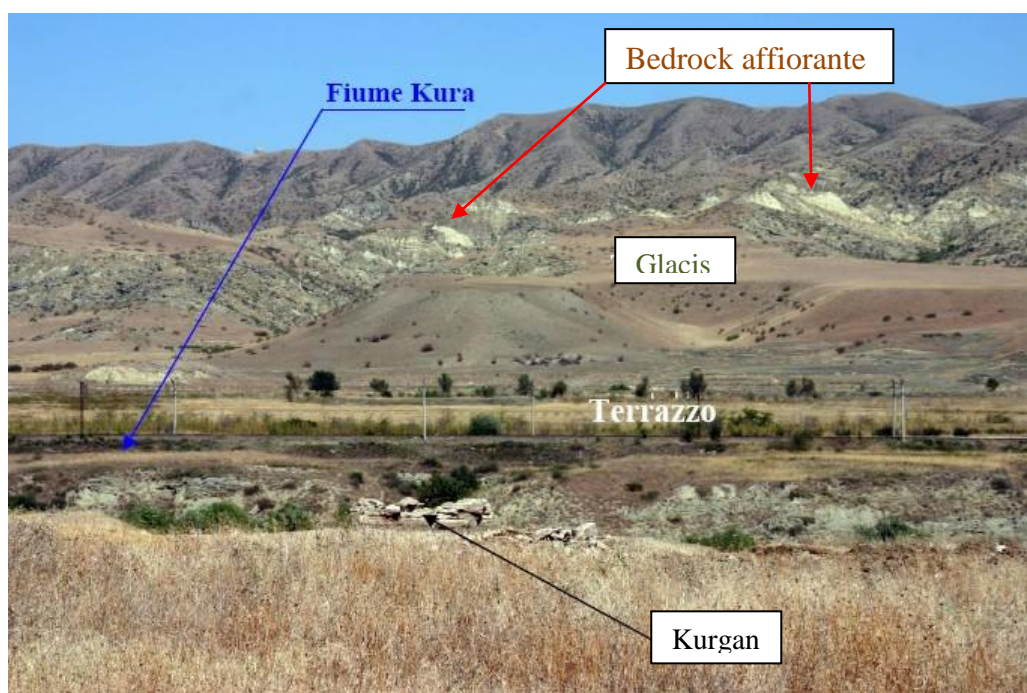


Foto 11: il terrazzo e il glacis d'erosione in sinistra Kura ripresi dal Kurgan di Okhera Khevi. Dietro il glacis, testate di strati del bedrock (hogbacks)

Stop 5: terrazzo in sinistra idrografica Kura

Coordinate: 44°31'39,938"E 41°52'41,578"N

Quota: 545

Nella zona sono state evidenziate due morfologie: il suo terrazzo alluvionale ed un glacis d'erosione (foto 11). Il primo si trova a poco più di una decina di metri dal letto del fiume attuale, l'altro a qualche centinaio di metri; quest'ultimo, elevato di circa 25 m rispetto al terrazzo, è un glacis d'erosione e non, come potrebbe sembrare, un secondo terrazzo, in quanto è costituito dal bedrock roccioso (alternanze di arenarie e marne) spianate dal dilavamento e coperte da un sottile strato (10 cm) di colluvio pedogenizzato. Tuttavia, la scarpata di questa struttura è fronteggiata da un deposito di una decina di metri di ghiaie e ciottoli. Forse un tempo i depositi, presumibilmente alluvionali, ricoprivano completamente la valle per lo meno fino a questo livello e solo in un secondo tempo sarebbero stati erosi, fino a denudare il bedrock.

A monte del glacis (stop 5b) affiorano le testate di strato, costituite in questo caso dalle arenarie terziarie, con giacitura 50/30.

Stop 6: incisioni nel terrazzo in sinistra idrografica

Coordinate: 44°31'38,302"E 41°52'49,488"N

Quota: 535

Il glacis ed il terrazzo fluviale in sinistra Kura sono interessati da una serie di modeste incisioni torrentizie; lungo una di queste è stato effettuato un sopralluogo, per studiare alcune sezioni esposte di sedimento sciolto quaternario di origine alluvionale, costituite da depositi di canale e di piana esondabile del Kura (foto 12). La successione consiste prevalentemente in alternanze di ciottoli e sabbie, frequentemente in eteropia fra loro. Lo spessore di questi depositi è circa 6-7 m. Alla base affiorano le arenarie terziarie, che emergono seguendo il torrente verso valle.



Foto 12: Depositi ciottolosi-ghiaiosi e sabbioso-limosi in eteropia tra loro

Stop 7: Tsikhiagora

Coordinate: 44°28'0,688"E 41°52'34,554"N

Quota: 620

Si tratta di un altro sito archeologico a circa 4 km ad ovest dei Kurgan. Il sito presenta livelli archeologici risalenti all'età del bronzo e opere in muratura di

età romana parzialmente conservate. Si trattava probabilmente di un luogo di culto, forse un tempio del fuoco.

Il sito è inserito in un'area collinare, con versanti dolci, ondulati e smussati dal dilavamento superficiale, con ampie zone piane sede di deposizione di colluvio o di sedimenti trasportati da piccoli corsi d'acqua.

In questa zona il substrato è subaffiorante o coperto da qualche metro di depositi o colluviali. In alcuni punti affiora il substrato, portato alla luce dal dilavamento superficiale e consistente in conglomerati e arenarie del Miocene Superiore.

Stop 8: Iaranis Gora, Kurgan calcolitico

Coordinate: 44°25'59,852"E 41°52'37,849"N

Quota: 650

Il sito ospita un altro Kurgan (foto 13), risalente in questo caso al Calcolitico, quindi più antico dei precedenti. Ad ogni modo, il contesto paesaggistico è lo stesso di Tsikhiagora: substrato subaffiorante, depositi colluviali, incisioni da dilavamento superficiale e presenza di modeste incisioni torrentizie. Poco a nord, il substrato, osservabile all'interno di alcune cave, è costituito sempre da rocce sedimentarie clastiche neogeniche che immergono verso nord.



Foto 13: il Kurgan di Iaranis Gora

Stop 9: canyon presso Iaranis Gora

Coordinate: 44°26'17,243"E 41°52'59,496"N

Quota: 675

Poco a nord di Iaranis Gora, si apre un'incisione, profonda circa 30-40 m, legata all'azione di scorrimento delle acque meteoriche. Ai bordi sono esposti alcuni affioramenti, i cui strati immergono verso sud-est (150/40). Nell'area è presente una coltre superficiale di deposito colluviale pedogenizzato e ricco in argille.

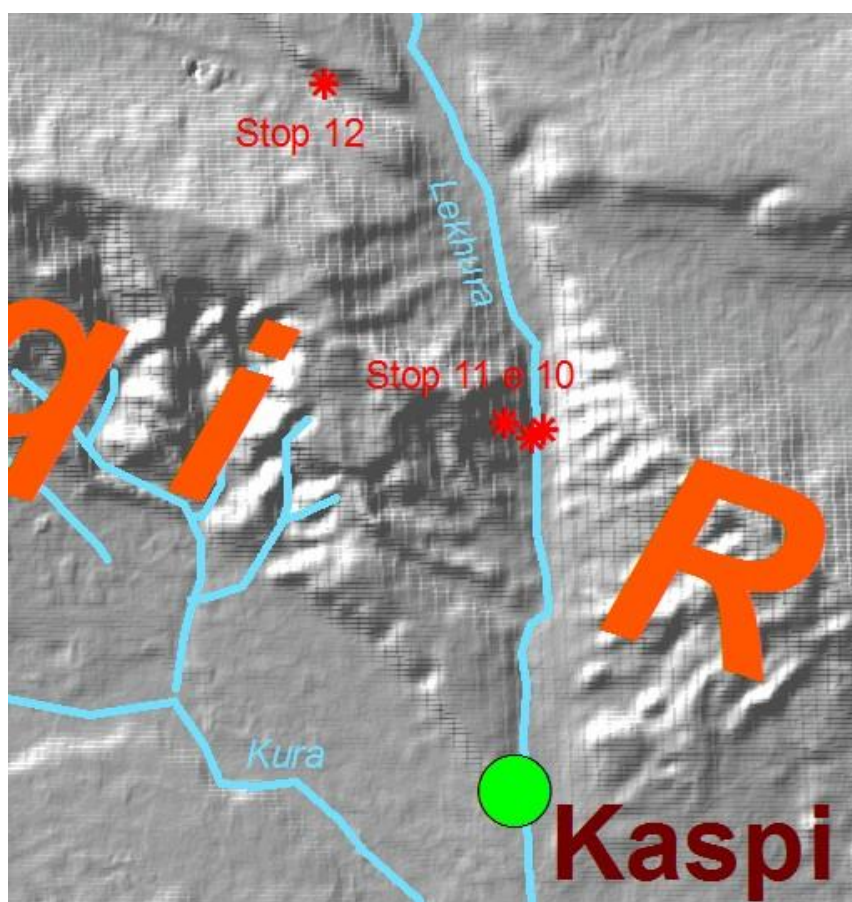


Fig. 26: gli stop 10, 11 e 12

Stop 10: Incisione del Lekhura

Coordinate: 44°25'29,149"E 41°57'44,774"N

Quota: 600

Il Lekhura è uno dei tributari di sinistra del Kura che taglia la catena collinare del Kvernaqi Range. Nel tratto in cui si inforra tra queste colline presenta un alveo braided, ciottoloso (foto 15). In fondo alla valle il fiume ha lasciato uno spessore di sedimenti alluvionali, presumibilmente poco potente (~10 m), in parte esposti in qualche sezione ai bordi dell'alveo stesso (foto 14, fig. 27).



Foto 14: sezioni al bordo del letto del Lekhura

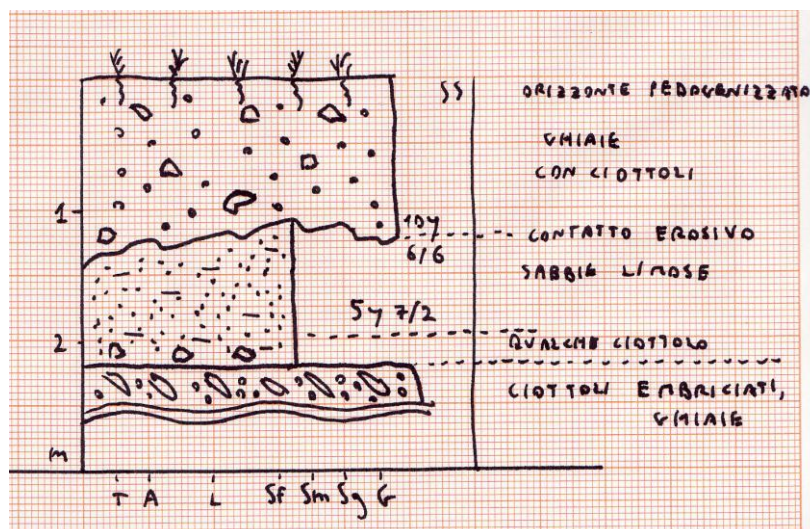


Fig. 27: log stratigrafico della sezione in foto 14.

Stop 11: I versanti del Kvernaqi Range in destra Lekhura

Coordinate: 44°25'9,716"E 41°57'47,371"N

Quota: 690

In questa zona, appena sopra il fiume Lekhura (stop 10), si può osservare l'assetto a monoclinale del Kvernaqi Range, con le testate di strato emergenti sul versante meridionale e un pendio settentrionale dolce, con strati a franappoggio (foto 16). L'erosione delle testate di strato e la creazione di un glacis d'erosione con incisioni torrentizie ai piedi dei pendii meridionali, testimoniano l'importanza dei processi di dilavamento. Ad ogni modo, le forme non sono di tipo calanchivo, data l'assenza di argille. Il substrato di cui è composto il Kvernaqi Range è rappresentato nel sito da sedimenti che vanno dall'Oligocene fino al Pliocene e sono prevalentemente ghiaiosi e ciottolosi. Da lontano, sul versante meridionale, si possono osservare areniti alla base che, procedendo verso l'alto, lasciano il posto ad un potente deposito conglomeratico (foto 17).



Foto 15: il letto del Lekhura presso lo stop 10



Foto 16: il Kvernaqi Range visto dallo stop 10. Giacitura degli strati evidenziata.

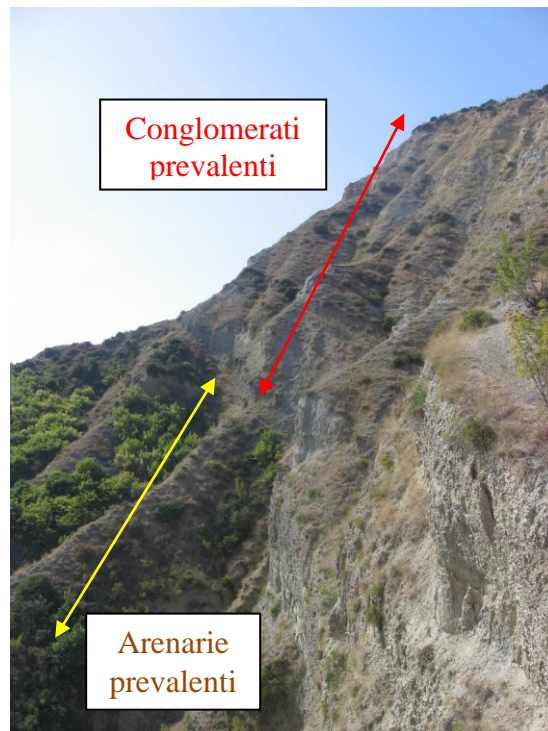


Foto 17: dettaglio del versante meridionale del Kvernaqi Range presso lo stop 11

Stop 12: versanti settentrionali del Kvernaqi Range, presso il Lekhura

Coordinate: 44°23'36,64"E 41°59'55,918"N

Quota: 680

In quest'area i pendii del Kvernaqi Range digradano fino a congiungersi con la pianura che lo separa dalle prime propaggini del Gran Caucaso.

Gli scassi al bordo dell'autostrada portano alla luce ampie sezioni di sedimenti del Quaternario che, al piede settentrionale delle colline del Kvernaqi Range, raggiungono spessori per lo meno di una trentina di metri (foto 18). Il sedimento è costituito da unità ghiaioso-ciottolose e unità sabbioso-limose che si interdigitano tra loro. Nella piana compresa tra il Kvernaqi Range e il Gran Caucaso si riconoscono inoltre dorsali costituite dallo stesso tipo di depositi, consistenti in alluvioni del Quaternario.

In questa zona quindi gli spessori delle unità alluvionali quaternarie conservate appaiono molto più consistenti che nei siti precedenti.



Foto 18: sezioni di depositi quaternari presso lo stop 12.

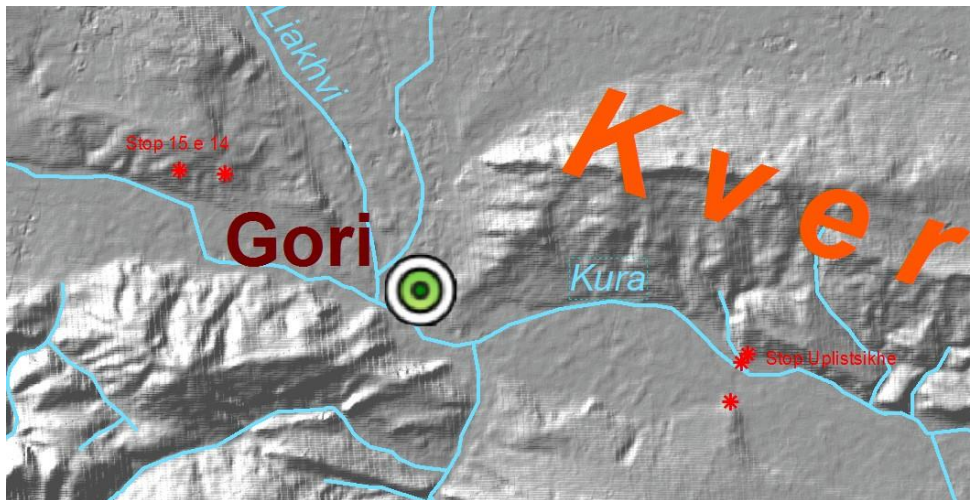


Fig. 28: Stop 13-15

Stop 13: Uplistsikhe

Coordinate: 44°12'27,203"E 41°57'57,466"N

Quota: 570

Uplistsikhe è un'importante sito archeologico, presso l'abitato di Kvachvrel; si tratta di uno dei più antichi centri urbani della Georgia, costruito e in parte scavato nella roccia sulla sponda sinistra del Kura, che rivestì un ruolo di grande importanza dall'Età del Ferro fino al Tardo Medioevo. Anche se il sito non rientra nelle località indagate dalla missione archeologica italo-georgiana, l'area è comunque importante per definire l'assetto geologico e geomorfologico dell'area.

Il sito si trova sulle rive del Kura, nell'ampia vallata che divide i versanti meridionali del Kvernaqi Range dal Piccolo Caucaso. In questa zona, il Kura non è inforrato come più a valle, ma presenta comunque un corso di tipo wandering, a canale unico o al massimo diviso in due canali anastomizzati da una serie di isolotti al centro dell'alveo, addossato al versante roccioso del Kvernaqi Range, al bordo settentrionale della valle (foto 19 e 20). Aree di alveo inattivo nella piana alluvionale del fondovalle fanno pensare che in una fase precedente il fiume fosse più libero di divagare.

Sul versante roccioso del Kvernaqi Range affiorano arenarie molassiche terziarie immergenti verso sud (100/30), a differenza della configurazione a

reggipoggio prevalente di questo versante della catena collinare. Dall'alto, guardando verso est-sud-est, si riconosce una sinclinale che collega la zona di Uplistsikhe con un tratto dove le stratificazioni sono nuovamente a reggipoggio (foto 21). Più in particolare, gli strati relativi alle unità molassiche sono costituiti da alternanze di areniti e conglomerati fini in set più che metrici, a laminazione incrociata (foto 22).



Foto 19: il Kura presso Uplistsikhe. Sullo sfondo, le prime dorsali del Piccolo Caucaso. Visuale verso sudest.



Foto 20: Il Kura presso Uplistsikhe, visuale verso ovest. In fondo alla vallata a sinistra sorge Gori.



Foto 21: versante meridionale del Kvernaqi Range a est di Uplistsikhe. In evidenza la giacitura degli strati e la sinclinale menzionata nel testo.



Foto 22: dettaglio delle arenarie presso Uplistsikhe. Set con laminazione incrociata. Stratificazione immergente verso sud.

Stop 14: estremità occidentale del Kvernaqi Range, a nord-ovest di Gori.

Coordinate: 44°3'25,217"E 42°0'20,42"N

Quota: 740

Il sito indagato si trova sull'estremità occidentale del Kvernaqi Range. Il rilievo, in questo settore della catena collinare, è più dolce e le quote sono di circa 200 m inferiori rispetto ai settori centrali.

In panoramica, si può osservare che il Kura in questa zona ha sempre un letto a canale unico relativamente stretto e rettilineo, con al massimo alcuni piccoli canali laterali di ordine inferiore e side bars (foto 23). Tuttavia, si riconoscono paleoalvei sparsi nella vallata e meandri abbandonati, corrispondenti a quelli visibili nelle immagini satellitari, che dimostrano come il fiume abbia divagato e avesse, in una epoca passata, un corso presumibilmente più sinuoso (foto 23). Altre forme riconoscibili sono i conoidi all'imbocco delle valli che si aprono nel Piccolo Caucaso e pianori dei (glacis) sui suoi versanti sul lato meridionale della valle (foto 23), simile a quello precedentemente descritto in sinistra Kura, nella zona dei Kurgan.

Si possono anche osservare, in prossimità di uno scasso stradale, varie sezioni di depositi quaternari, composti da corpi canalizzati a festoni, riempiti di ghiaie inglobati in unità sabbiose (foto 24). Lo spessore di sedimento sciolto alluvionale è di circa 5-10 m. La presenza di questi depositi sui rilievi fa pensare che il sollevamento degli stessi sia molto recente, avvenuto in epoca quaternaria.

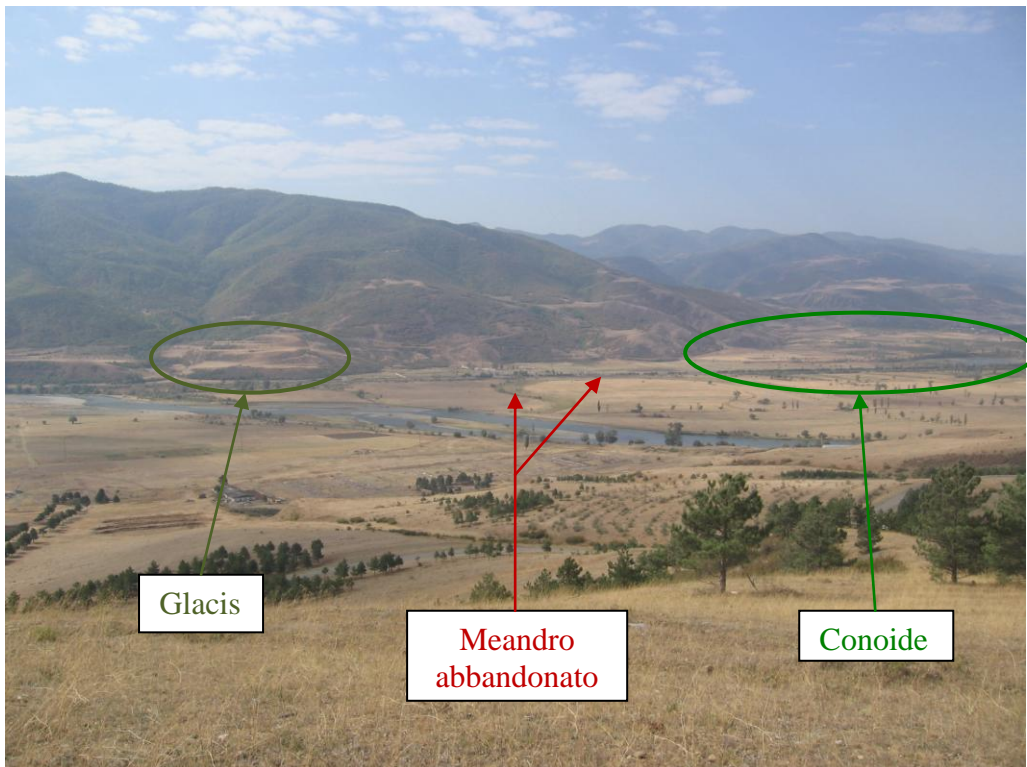


Foto 23: panoramica dallo stop 14. Visuale verso sud-ovest. Si osserva la vallata del Kura con le sue varie forme.



Foto 24: depositi quaternari esposti presso lo stop 14. Canali riempiti in evidenza.

Stop 15: estremità occidentale del Kvernaqi Range; sezione.

Coordinate: 44°2'37,754"E 42°0'22,89"N

Quota: 740

È stato realizzato un log stratigrafico non lontano dallo stop 14 (foto 25).

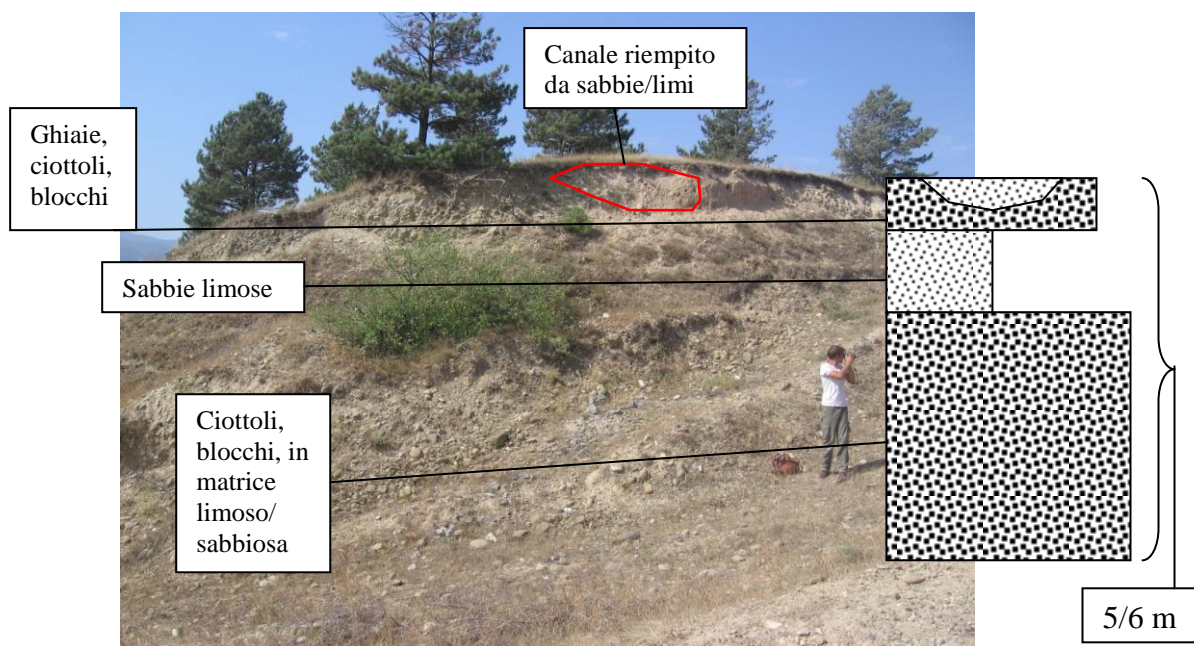


Foto 25: la sezione dello stop 15.

La sezione studiata evidenzia la presenza di circa 5-6 metri di depositi alluvionali, in prevalenza ghiaioso-ciottolosi. Molti clasti di questi depositi sono costituiti da vulcaniti basiche, caratteristica che questi sedimenti hanno in comune con quelli attuali del Kura.

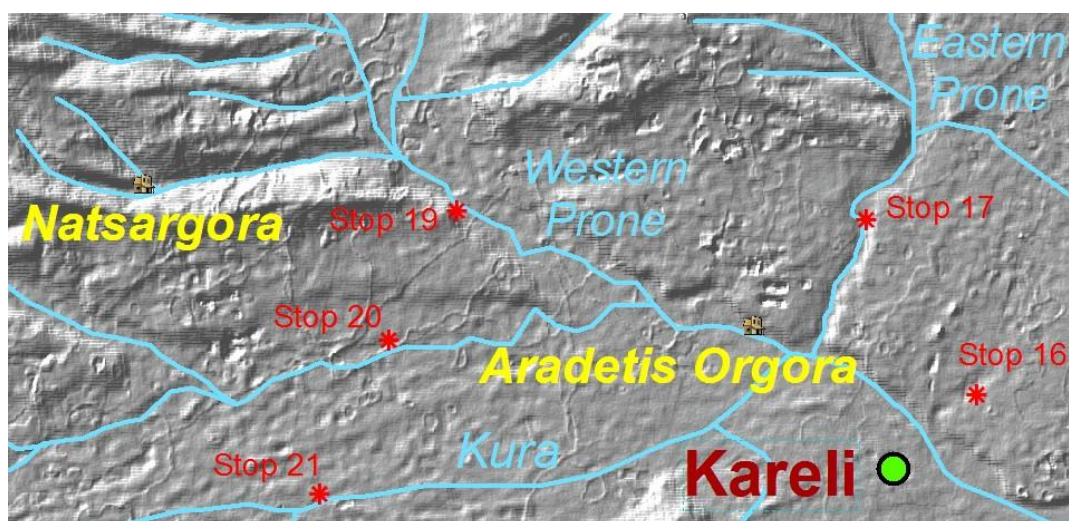


Fig. 29: stop dal 16 al 22

Stop 16: paleoalveo del Liakhvi

Coordinate: 43°54'46,688"E 42°2'6,5"N

Quota: 650

Attraverso immagini satellitari è stato individuato un paleocorso del fiume Liakhvi, tributario di sinistra del fiume Kura. Attualmente la confluenza si trova presso la città di Gori; in una fase precedente, essa era situata più a monte. Nella parte terminale del paleoalveo, in particolare lungo l'ultimo chilometro prima della confluenza con il Kura, si presenta come un'area lacustre-paludosa (foto 26). Più a monte, lungo il paleoalveo, pur in assenza di acque stagnanti, si riconosce comunque l'antica incisione del paleoalveo e i terrazzi laterali del Paleoliakhvi (foto 27).



Foto 26: piccolo lago/palude che occupa l'ultimo tratto del paleoalveo del Liakhvi, presso lo stop 16

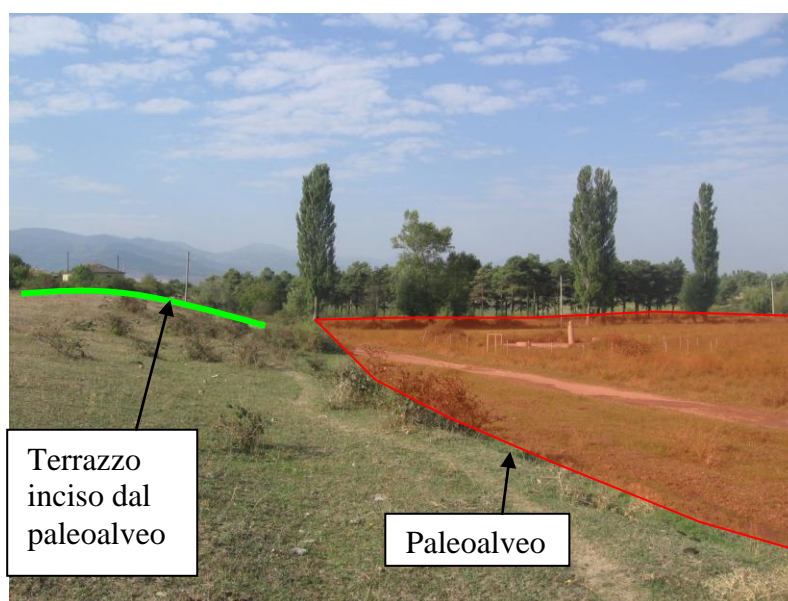


Foto 27: paleoalveo del Liakhvi e relativo terrazzo.

Stop 17: sezioni lungo l'incisione del Prone Orientale

Coordinate: 43°53'11,46"E 42°3'56,083"N

Quota: 670

Il Prone orientale è un altro affluente di sinistra del Kura; vi confluisce presso il sito di Aradetis Orgora, tra Kareli e Agara. Si presenta come un corso d'acqua

di modeste dimensioni, largo appena una decina di metri nel tratto esaminato; è poco profondo ed in erosione. Lungo il suo letto, ai bordi, sono esposte alcune sezioni di depositi alluvionali; su una dei esse è stato realizzato un log stratigrafico (fig. 30). I depositi sono spessi alcuni metri; al di sotto, portato alla luce dall'erosione del corso d'acqua, affiora il substrato roccioso, costituito nuovamente da areniti terziarie con giacitura 50/17.

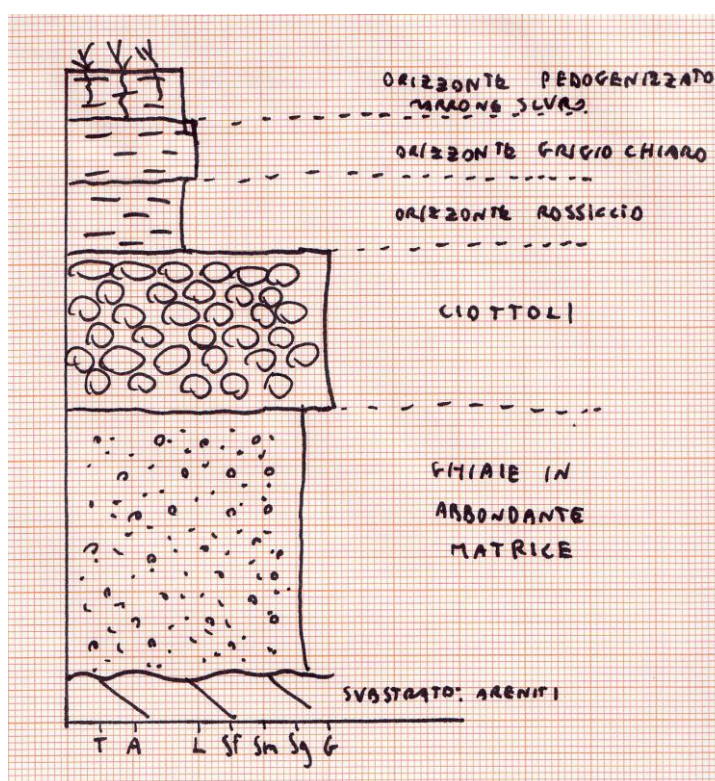


Fig. 30: sezione di depositi presso il Prone orientale, stop 17



Foto 28: sezione rappresentata nel log di figura 33

Stop 18: Aradetis Orgora

Coordinate: 43°51'36,82"E 42°2'48,621"N

Quota: 660

Il sito di Aradetis Orgora da un punto di vista geomorfologico è situato alla giunzione di un sistema di aste fluviali (Kura, Paleoliakhvi, Prone orientale e Prone occidentale); in particolare giace su una piccola collina costituita da una porzione isolata di terrazzo fluviale (660 m di quota) circa 30 m sopra la piana alluvionale recente del Kura (630 m) (foto 29).

Nella missione del 2009 è stata compiuta un'analisi stratigrafica dei livelli esposti sul lato meridionale del poggio, dove livelli archeologici sono alternati a depositi alluvionali legati al Kura ed ai suoi affluenti. In particolare, partendo dalla base, sono stati identificati tre livelli archeologici (foto 29):

- 1) Livello dell'Antica Età del Bronzo, con abbondanti frammenti di ceramiche in matrice limosa/argillosa. Un frammento di legno proveniente da questo livello è stato datato con il Radiocarbonio, dando un'età di 4375 ± 40 anni. Il livello è stato seppellito da un evento alluvionale che ha prodotto un livello di sedimento grossolano (ghiaie, ciottoli) spesso 1,5 m.
- 2) Livello della Tarda Età del Bronzo, caratterizzato da matrice argillosa/limosa con ceramiche abbondanti.
- 3) Livello risalente all'Età Romana nella parte superiore del sito, caratterizzato da ceramiche e mattoni in grande quantità.

La presenza di un deposito alluvionale tra i due livelli dell'Età del Bronzo indica che circa 4300 anni fa a quell'altezza (a 20 m di quota rispetto il livello attuale del fiume) ci fu attività fluviale.

Nella sezione analizzata durante la missione del 2010 (fig. 31) non si sono individuati due differenti livelli risalenti all'Età del Bronzo, ma è stato chiaramente riconosciuto un altro evento alluvionale tra i livelli dell'Età del Bronzo e quelli dell'Età Romana, indicando una persistenza anche più tarda di attività fluviale in corrispondenza del sito.

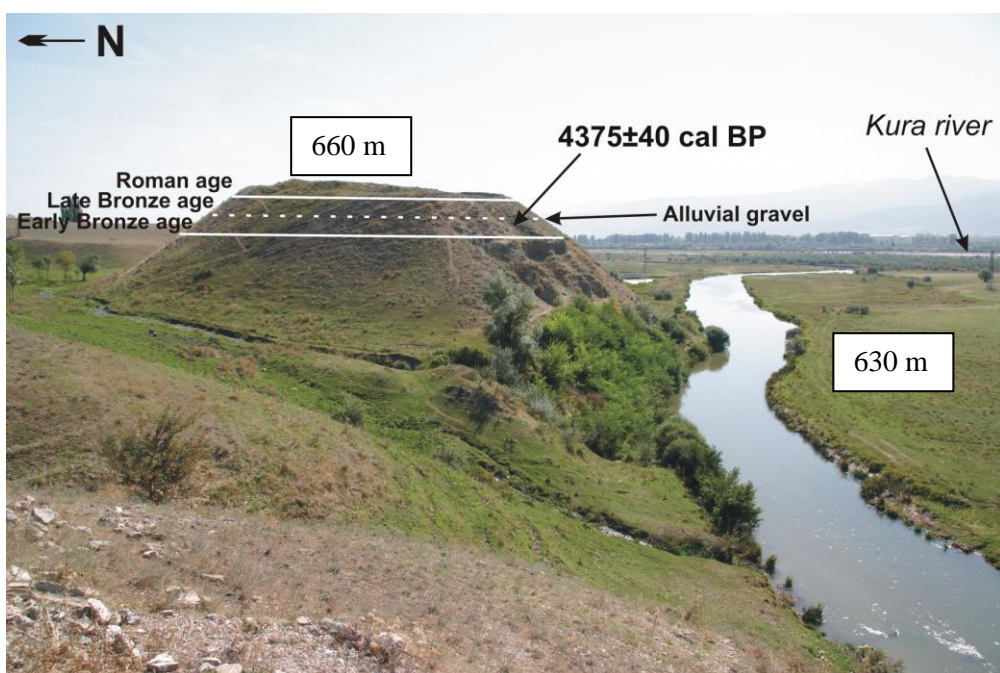


Foto 29: la stratigrafia del sito di Aradetis Orgora definita nella missione del 2009. La datazione mostrata è stata ottenuta col metodo del Radiocarbonio (rapporto interno). Il fiume Kura è visibile in secondo piano

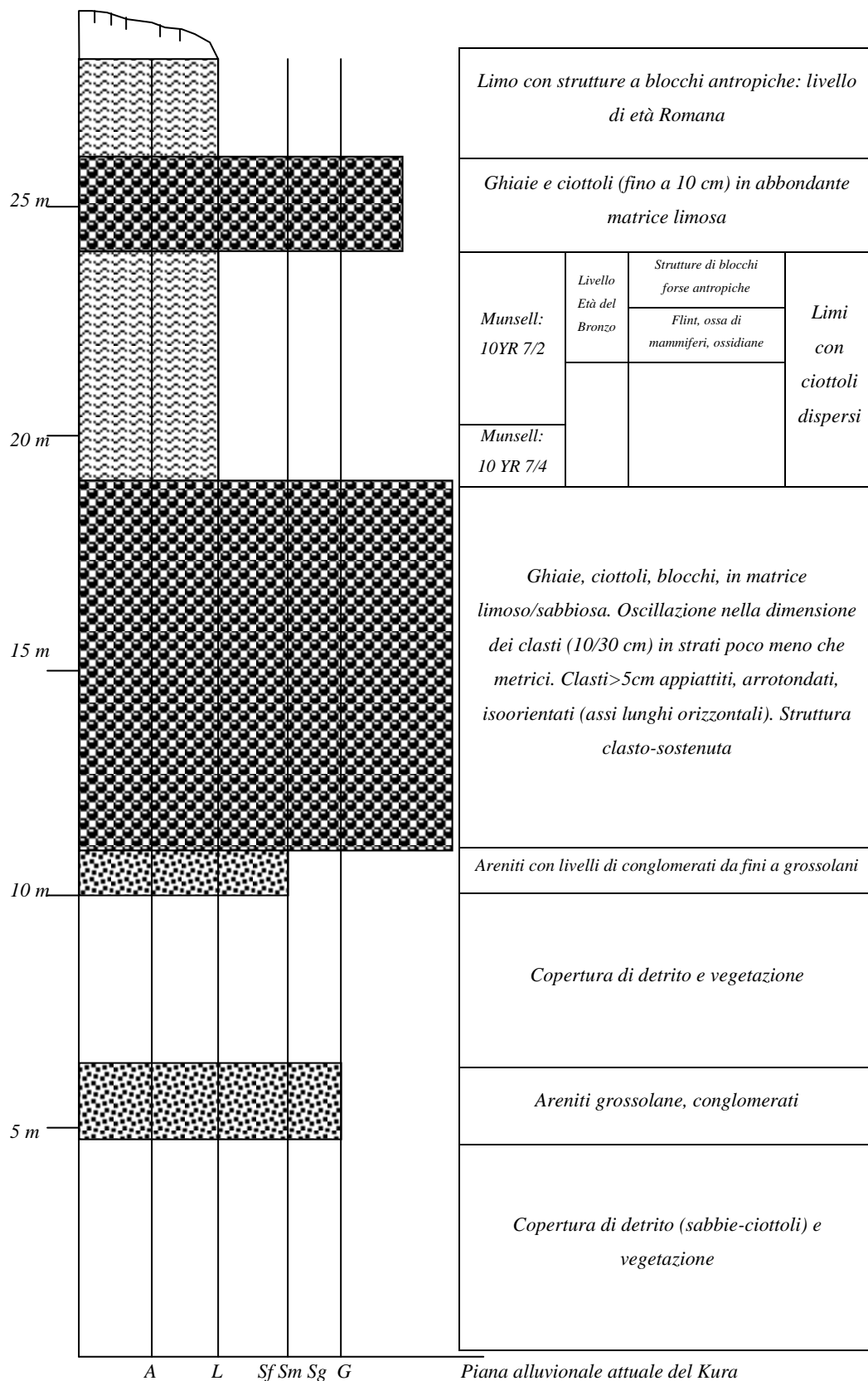


Fig. 31: log stratigrafico del sito di Aradeti Orgora realizzato durante la missione di terreno del 2010



Foto 30: contatto fra le arenarie e l'unità di sedimento grossolano spessa 8 m, a 11 m di altezza dalla piana attuale del Kura (vedi fig. 29)



Foto 31: contatto fra l'ultima unità grossolana alluvionale e i livelli dell'Età Romana, a 26 m di altezza dalla piana (vedi fig. 29)

Stop 19: Incisione del Prone Occidentale

Coordinate: 43°47'23,528"E 42°3'58,119"N

Quota: 650

È stato esaminato anche un tratto del Prone Occidentale. Anche questo corso d'acqua, come il Prone Orientale, è di modeste dimensioni, è largo una decina di metri ed è poco profondo. È inciso in pochi metri di deposito alluvionale e, in alcuni punti incide anche il substrato, che si presenta con strati pressoché verticalizzati.

Stop 20: paleoalvei del Kura.

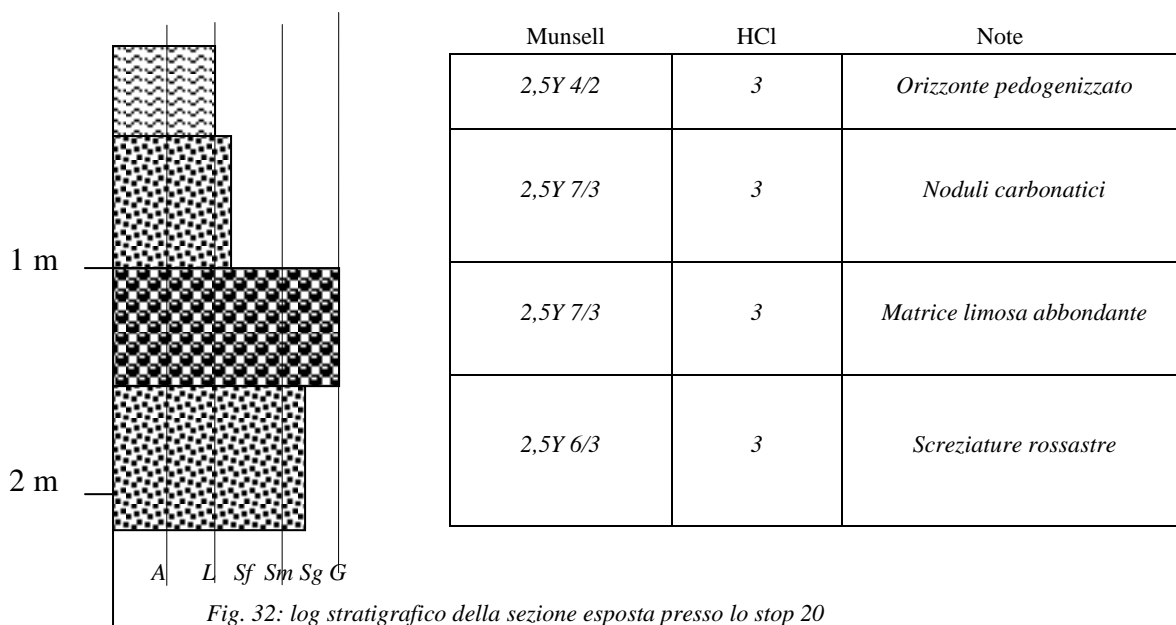
Coordinate: 43°46'27,47"E 42°2'35,663"N

Quota: 650

Il sito indagato si trova sul terrazzo più basso alla sinistra idrografica del Kura, inciso, più a sud, dall'alveo attuale del fiume. Subito a ridosso, a nord, si trova un terrazzo di secondo ordine, più antico.

Mediante telerilevamento, si sono riconosciuti molti paleoalvei ascrivibili alle divagazioni del Kura, in particolare sul terrazzo di ordine inferiore, che in questo punto è ampio circa 2 km.

Una sezione di sedimenti alluvionali è stata analizzata.



Stop 21: piana alluvionale del Kura, presso l'alveo attuale.

Coordinate: 43°45'30,399"E 42°0'57,691"N

Quota: 650

È stata esaminata anche la superficie del terrazzo più recente, fino all'alveo del Kura, che si trova attualmente quasi addossato ai pendii delle colline a meridione. A settentrione invece il corso d'acqua ha abbandonato un ampio terrazzo percorso, come già affermato, da numerosi paleoalvei. Probabilmente questo terrazzo viene ancora oggi inondato in occasione di grosse piene del Kura; esso infatti scorre quasi al suo stesso livello. Il fiume in questa zona è di tipo braided (Foto 32).



Foto 32: scattata dalla superficie del terrazzo più recente del Kura, immediatamente a ridosso del suo alveo.

Stop 22: Natsargora

Coordinate: 43°42'57,405"E 42°4'12,239"N

Quota: 750

La morfologia dell'area è caratterizzata da piccoli rilievi, le cui altitudini variano da circa 600 a 900 m, intervallati da modeste incisioni torrentizie. I

rilievi, di forma piuttosto arrotondata e con pendenze medie inferiori ai 15°, sono allungati in direzione SSE/NNO e seguono verosimilmente le principali linee strutturali dell'area.

Il sito è situato su un modesto rilevato artificiale, ad un'altitudine di circa 750 m, localizzato sulla terminazione orientale di una delle colline descritte. Nei 3 m sommitali sono presenti abbondanti resti archeologici ma, considerando la forma e le caratteristiche topografiche del rilevato, tutto il corpo della struttura è di origine antropica. A partire da una situazione naturale, in cui forse il rilevato artificiale si è instaurato su un modesto ripiano naturale, sorge il nucleo abitativo del Bronzo Antico, che prosegue fino al Bronzo tardo. Nel momento in cui la collina è stata abbandonata, sono iniziati i processi di degradazione delle strutture antropiche, che sono proseguiti fino a che sono state totalmente ricoperte. La forma arrotondata del rilevato è dovuta invece ai processi di dilavamento superficiale, che hanno uniformato la superficie topografica. Alla base della collina sono infatti presenti modesti depositi colluviali provenienti dalla collina, soprattutto sedimenti fini limoso-argillosi di spessore modesto (max 3 m).

L'area circostante è infatti una regione collinare con substrato subaffiorante, in erosione e con poco o nullo deposito quaternario, e presenza di cappellacci di alterazione pedogenizzati.

L'ossatura rocciosa dei rilievi è costituita da diverse unità di molasse neogeniche, le quali sono normalmente ricoperte dai cappellacci di alterazione. Solo localmente emerge, in affioramenti limitati posti generalmente su piccole superfici verticali esposte, il sottostante bedrock. Tutta l'area è interessata da processi di erosione a carico dei versanti.

Nell'area attorno al sito non sono presenti affioramenti rocciosi. A qualche chilometro dal sito è stata osservata una falesia lunga un centinaio di metri ed alta circa 10 m (foto 33): la sezione è costituita da un'alternanza di arenarie compatte metriche e marne/areniti decimetri che, suborizzontali, con occasionali bioturbazioni e rari frammenti di fossili. Nel complesso rappresentano un facies tipicamente flyschoidale. L'età è miocenica.



Foto 33: affioramento di bedrock a nord di Natsargora. Alternanze di areniti e marne.

4.3.2. Telerilevamento

L'interpretazione e integrazione in ambiente GIS delle carte topografiche russe, dei dati Corona, Landsat ETM e ASTER GDEM e delle osservazioni di terreno ha reso possibile la realizzazione di una carta geomorfologica a scala 1:200.000. La legenda della carta è stata utilizzata la Guida al Rilevamento per la Carta Geomorfologica d'Italia 1:50.000 modificata (vedi capitolo 4.2.1.). Le isoipse sono state derivate da ASTER GDEM.

4.3.3. Legenda estesa della carta geomorfologica

Terrazzi alluvionali

La simbologia scelta per rappresentare i terrazzi fluviali è quella presente nella Guida al Rilevamento per la Carta Geomorfologica d'Italia 1:50.000. Buona parte delle zone pianeggianti dell'area di studio sono interpretabili come superfici di terrazzi di vario ordine ed età. Per quanto riguarda gli orli dei terrazzi, essi non sono stati distinti in base all'altezza della scarpata; alla scala in cui si è lavorato, infatti sono state individuate scarpate alte per lo meno una decina di metri, che separano terrazzi d'ordine ed età diverse, probabilmente formati in distinte fasi evolutive dell'area.

Si sono distinti, in tutta l'area, tre ordini principali di terrazzi, numerati da 1 a 3 in ordine cronologico di formazione:

- l'ordine 3 è costituito dal sistema di terrazzi depositato per ultimo e inciso unicamente dagli alvei attuali dei corsi d'acqua (vedi descrizioni stop 1, 2, 3, 4, 6, 18, 20, 21 in parte anche 10, 13, 14, 17, 19).
- L'ordine 2, è localizzato a circa 10/20 m più in alto, è riferibile ad una fase precedente dell'assetto idrografico dell'area, in particolare del Kura e del Prone Occidentale, che si trovavano ad un livello superiore a quello attuale (stop 5, 20) e del Liakhvi, che aveva il corso spostato più ad ovest dell'attuale posizione (stop 16).
- L'ordine 1, costituito da una superficie ad un livello superiore di ~10 m rispetto alla precedente; quest'ordine è ascrivibile ad una pianura alluvionale antica (2/1 Ma?) ed è conservato soprattutto nell'area compresa tra il Paleoliakhvi e il Liakhvi e nella pianura a nord del Kvernaqi Range,.

Depositi alluvionali antichi

Sono stati cartografati secondo questo criterio i depositi alluvionali indistinti, dove non sono state riconosciute forme caratterizzanti.

Depositi colluviali

Tutte le aree caratterizzate da depositi colluviali e spianate dal dilavamento sono state rappresentate impiegando il simbolo corrispondente a deposito colluviale nella Guida al Rilevamento per la Carta Geomorfologica d'Italia 1:50.000, per distinguerle meglio è stata usata una tonalità di verde differente da quella usata per le forme alluvionali. Spesso si tratta di zone livellate dei versanti, con substrato roccioso in erosione subaffiorante e una sottile (>1 m) copertura di colluvio ascrivibile ad un glacis d'erosione. Questa forma è tipica dei versanti al piede del Kvernaqi Range e del Piccolo Caucaso, presso le piane alluvionali nei fondovalle.

Conoidi alluvionali

Si è scelta una simbologia leggermente diversa da quella utilizzata nella guida e la cui rappresentazione in ambiente GIS è risultata più semplice. Le conoidi alluvionali sono presenti nell'area di studio prevalentemente al piede dei versanti del Piccolo Caucaso, allo sbocco di vallette sulla piana alluvionale del Kura. Il contesto dove esse si formano è quello di un rilievo prossimale rispetto alla valle di questo fiume, da cui escono piccoli corsi d'acqua tributari del Kura caratterizzati da piccoli bacini idrografici. Una situazione simile si presenta anche nel versante meridionale del Kvernaqi Range. Generalmente le conoidi nell'area sono in erosione, incise dai relativi torrenti.

Alvei, corsi d'acqua

Sono distinti corsi d'acqua di ordine basso, aventi una larghezza inferiore ai 100 m, e corsi d'acqua maggiori, con alvei larghi almeno 100 m; tra questi ultimi, sono state cartografate aree di alveo attivo, attualmente percorso dal canale di magra, ed aree di piana inondabile soggetta ad erosione e sedimentazione durante gli eventi di piena.

Vallecole da ruscellamento concentrato

È stata cartografato il solco rilevato allo stop 9.

Orli di rilievi monoclinali

La simbologia è quella presente nella Guida al Rilevamento per la Carta Geomorfologica d'Italia 1:50.000, leggermente semplificata. Queste forme si notano spesso presso le creste sui versanti meridionali del Kvernaqi Range.

Paleoalvei

Simbologia tratta dalla Carta Geomorfologica della pianura veneta. Sono stati riconosciuti numerosi paleoalvei del fiume Kura, testimonianze delle sue divagazioni nella vallata, ed un importante paleocorso del Liakhvi; altri paleoalvei nell'area di studio sono presenti presso il Prone Occidentale e nell'ampia pianura alluvionale compresa tra il Gran Caucaso e il Kvernaqi Range.

Substrato roccioso (bedrock) affiorante o subaffiorante

Per tutte le aree con bedrock affiorante/subaffiorante (coperto al massimo da 1 m di colluvio) è stato stabilito un simbolo comune. Il bedrock è sempre costituito, nell'area cartografata, da molasse e flysch terziari, eccetto alcune unità cretache sedimentarie e vulcaniche nel Piccolo Caucaso.

4.4. Discussione

4.4.1. Descrizione della geomorfologia dell'area di studio

In generale, nel Bacino di Kartalini si può riconoscere un sistema alluvionale, caratterizzato da corsi elevata energia, i cui sedimenti sono per lo più grossolani e rappresentati in gran parte da ghiaie, con ciottoli e blocchi, localmente alternati a livelli o lenti di sabbie e limi. Sono frequenti le conoidi tributarie i corsi d'acqua sono incisi oppure ad alveo libero ghiaioso di tipo braided.

La piana alluvionale è caratterizzata da sistemi di terrazzi di vari ordini ascrivibili alle varie fasi evolutive del Kura e di alcuni suoi affluenti di sinistra

(Liakhvi, Prone, Lekhura). La piana si trova a una quota digradante da 750 m a nordovest a 500 m a sudest.

Le conoidi alluvionali si trovano laddove le valli del Piccolo Caucaso, o del Kvernaqi Range in qualche caso, sboccano direttamente sulla vallata del Kura. Sovente il loro sviluppo influisce sull'andamento del corso del Kura.

I glacis d'erosione sono numerosi, le condizioni ambientali e climatiche sono favorevoli per la loro formazione: pendii relativamente dolci dei rilievi collinari composti da rocce facilmente degradabili (conglomerati, arenarie, marne) ed esposti al dilavamento delle acque meteoriche con scarsa copertura vegetale (è presente solo una bassa e rada vegetazione) in clima arido subtropicale.

Per una descrizione più dettagliata, l'area è stata suddivisa in diverse sottoaree:

-La valle del Kura compresa tra il paleocorso del Liakhvi (stop 16) e Okhera Khevi (stop1-9): si tratta di un tratto di 50 km della valle compresa tra il Kvernaqi Range ed il Piccolo Caucaso, la cui larghezza varia da 2 a 5 km, con andamento ovest-nord-ovest/est-sud-est, sede del corso attuale del Kura. La quota scende dai 600 m a ovest a 500 m a est. Lo stile fluviale è wandering, a canale unico (di magra) o con rari canali laterali minori la cui sinuosità aumenta con la presenza di conoidi tributarie che si sviluppano dai fianchi vallivi). Il letto è sempre prevalentemente ghiaioso, caratterizzato da barre laterali e longitudinali (tipo 2 in base alla figura 2.2 in Schumm et al, 2002 vedi fig. 33).

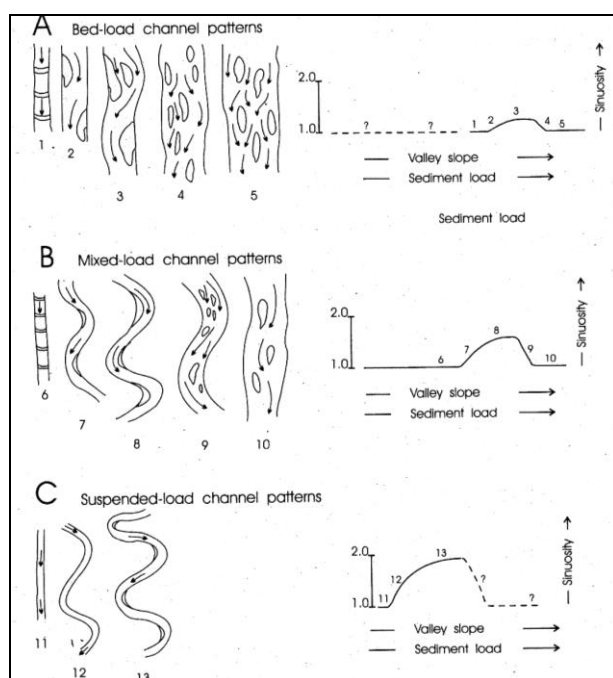


Fig. 33: Tipologie di canale dei fiumi da "Active Tectonics and Alluvial Rivers", Schumm et al.2002

Nel tratto più a monte, fino quasi a Kaspi, il livello del fiume rimane all'altezza della piana alluvionale del fondovalle; oltre, presso Okhera Khevi, si inforra andando ad incidere anche il substrato roccioso. Alvei inattivi e palealvei (tra cui anche meandri abbandonati) presso Uplistsikhe (stop 13) e a ovest di Gori testimoniano come il fiume abbia, in fasi evolutive precedenti, divagato maggiormente nel fondovalle ed abbia avuto un corso più sinuoso. In ogni caso gli spessori di sedimento sciolto presente non eccedono mai la decina di metri. Ai fianchi della valle sono frequenti glacis al piede delle colline che contornano la valle (foto 11 e 23).

La stretta fascia di rilievi del Piccolo Caucaso inclusi nell'area studio è caratterizzata da sommità che arrivano fino ai 1000-1200 m e valli strette e profonde, con profilo a V, con, come già descritto, frequenti conoidi al loro sbocco (foto 23).

-Il Kvernaqi Range (stop 10, 11, 15, 14): abbiamo già detto come questa catena di colline si configuri in generale come un rilievo monoclinale, allungato in direzione ovest-nordovest/est-sudest, con stratificazioni a reggipoggio a sud e a franappoggio a nord, sovente con hogbacks (foto 16 e 17, hogbacks in foto

11). Ciò si osserva chiaramente nell'area di Kaspi e Okhera Khevi. Tuttavia, come vedremo più approfonditamente nel prossimo capitolo, la geologia del substrato è caratterizzata da varie pieghe e thrust (foto 21), per cui la morfologia dei pendii del Kvernaqi Range non rispecchia sempre quella di un semplice monoclinale. Nell'area di Uplistsikhe (stop 13), per esempio, la stratificazione del pendio meridionale è a franappoggio (foto 22). Il fianco settentrionale della catena è invece più regolare, con pendenze inferiori e strati a franappoggio. Sovente questo versante può essere descritto come una superficie strutturale, dato che l'erosione ha scoperto e seguito le superfici di stratificazione (foto 16).

Abbiamo già detto anche come il Kvernaqi Range sia diviso in segmenti, separati da corsi d'acqua che lo incidono, attraversandolo da parte a parte da nord a sud. I tratti compresi tra il Ksani e il Lekhura e quello tra il Lekhura e il Liakhvi sono simili, con quote delle sommità attestata fra i 1000 m e interamente costituiti dal bedrock di molasse e flysch terziari, con coperture quaternarie nulle o limitate a cappellacci di alterazione e locali accumuli colluviali. Il tratto compreso tra Liakhvi e Prone invece, che ne costituisce la terminazione occidentale, si differenzia dagli altri per le seguenti caratteristiche: una morfologia più dolce (pendenza dei versanti inferiore, soprattutto in confronto a quello meridionale degli altri segmenti di catena; quote massime inferiori, circa 800 m) e presenza di spessori di depositi sciolti quaternari di origine alluvionale (foto 24 e 25).

-La pianura situata a nord del Kvernaqi Range (stop 12): essa rappresenta, in base ai rilievi presso lo stop 12 e alle informazioni trovate in letteratura, la parte dell'area di studio dove grossi spessori (>30 m, fino a 200 m) di depositi quaternari sono presenti. In tutte le altre zone, il substrato è affiorante, subaffiorante o coperto da al massimo una decina di metri di depositi sciolti. Si tratta di una piana alluvionale digradante con una pendenza media dell'1% verso sud, percorsa da corsi d'acqua poco e per nulla sinuosi, spesso braided, con andamento da nord verso sud (verso il Kura). Il fiume più importante è il

Liakhvi, il cui andamento braided presenta un letto con direzione rettilinea verso sud-est.

-Natsargora e le propaggini del massiccio di Dzirula (stop 22): questo settore collinare dell'area è costituito da creste che non superano i 900 m di quota ed esposte all'erosione per dilavamento ad opera del ruscellamento e di corsi d'acqua a regime torrentizio. Non sono stati rilevati spessori significativi di deposito sciolto quaternario (>1m).

-La piana alluvionale tra Gomi e Kareli, presso Aradetis Orgora (stop 16-21): questo tratto di pianura è compreso tra il massiccio di Dzirula a nord ed il Piccolo Caucaso a sud, distanti tra loro circa 7 km, e aperto verso la piana che giace a settentrione in corrispondenza del corridoio tra il Kvernaqi Range a est e sempre il massiccio di Dzirula a ovest, largo 4 km. La quota varia da 650 m a Gomi (ad ovest) a 610 m Kareli (ad est). Vari ordini di terrazzi caratterizzano la morfologia della zona. I tratti salienti di questa area sono:

- il carattere braided del fiume (tipo 5 in base alla fig. 33), laddove più a valle si incanala e passa a wandering;
- gli orli di terrazzi fluviali, sulla riva sinistra del Kura, dove si trovano esposte sezioni che includono: un substrato roccioso che affiora allo stesso livello dell'alveo attuale del fiume; livelli archeologici risalenti a circa 4000 anni fa seppelliti da alluvioni grossolane che devono essere evidentemente più recenti e che si trovano a circa 30 m di altezza rispetto alla piana esondabile attuale;
- i paleoalvei alla sinistra del Kura, testimoni di corsi antichi del fiume più spostati a nord, laddove adesso l'alveo si trova quasi a ridosso dei rilievi a sud del fiume
- il paleocorso del Liakhvi, che passava nell'attuale corridoio tra il Kvernaqi Range e il massiccio di Dzirula, confluendo nel Kura poco oltre il Prone. Il paleoalveo più recente si trova presso Kareli (stop 16) ma l'incisione attribuibile ai suoi corsi in terrazzi più antichi arriva fino ad Aradetis Orgora, dove il Prone ne incide a sua volta i depositi.

4.4.2. Interpretazione delle forme rilevate

In generale, l'area appare in condizioni di erosione. Tutta l'idrografia si presenta in incisione, che interessa o gli stessi depositi alluvionali o il bedrock. Le unità alluvionali quaternarie sono in genere poco potenti, tranne nella zona pianeggiante settentrionale, che però non è più sede di deposizione da parte delle aste fluviali principali. Ciò è verosimilmente dovuto all'assetto regionale del bacino di Kartalini: esso risulta essere in sollevamento nelle aree laterali o in leggera subsidenza in quella centrale; tuttavia rispetto alla marcata subsidenza delle zone più a valle del bacino del Kura, risulta essere meno subsidente rispetto ad esse (Philip et al., 1989; vedi anche figura 11). È normale dunque aspettarsi che l'idrografia dell'area tenda ad approfondirsi cercando di mantenere il proprio profilo longitudinale. Ciò succede sia per quanto concerne il Kura, con il suo basso corso in subsidenza maggiore rispetto a quello che si trova nel bacino di Kartalini, sia i corsi d'acqua di ordine inferiore del bacino, che erodono le zone in uplift rispetto alla valle del Kura stesso.

Nel dettaglio, sono presenti situazioni locali articolate e con ulteriori aspetti interessanti, in seguito descritti.

-Ad Okhera Khevi l'incisione del Kura è marcata ed evidente, non solo per l'alveo del fiume inciso, ma anche per i depositi alluvionali ancora presenti ad una trentina di metri di altezza rispetto ad esso. Il loro sollevamento è da imputare all'uplift che ha avuto luogo nel Quaternario.

-Il Kvernaqi Range presenta caratteri particolarmente interessanti. La presenza di unità plioceniche coinvolte nei piegamenti che lo caratterizzano indica che il suo sollevamento non è più antico di 4/5 Ma. La presenza di depositi quaternari sulla sommità del suo segmento occidentale suggerisce anzi che questa parte sia di sollevamento ancora più recente, inferiore ai 2 Ma. Ciò, insieme al rilievo che si addolcisce da est verso ovest, fa pensare che il sollevamento della catena di colline sia iniziata ad est verso la fine del Pliocene e si sia propagata

gradualmente verso ovest, sovrimponendosi per altro a un reticolo idrografico già formato in precedenza: i corsi d'acqua maggiori provenienti dal Grande Caucaso (Ksani, Lekhura), in grado con la loro capacità di incidere di contrastare l'uplift, hanno mantenuto il loro tracciato con andamento nord-sud, con il risultato che oggi attraversano la catena da parte a parte in una forra (una valle trasversale antecedente, come in fig. 34), mentre l'idrografia minore è stata deviata (fenomeno descritto anche in Schumm et al., 2002).

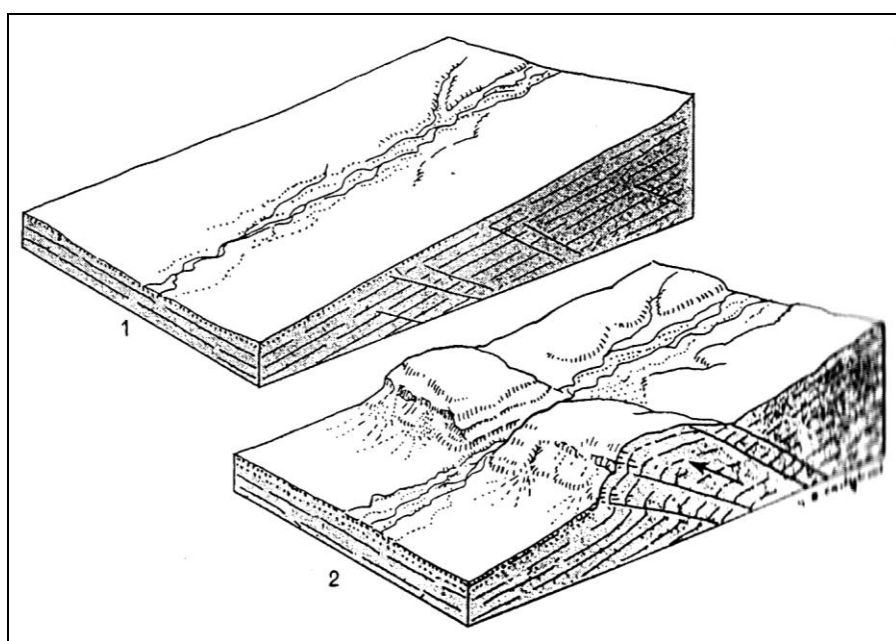


Fig. 34: formazione di una valle trasversale antecedente, dalla seconda edizione di "Geomorfologia" di Castiglioni. Esemplifica perfettamente quello che si ritiene essere l'assetto delle valli trasversali nel Kvernaqi Range.

-Un altro aspetto importante dell'area di studio è costituito dai cambiamenti di tipologia di alveo del Kura lungo il suo corso, da braided libero a wandering e ad inforato nel bedrock (alveo in roccia con letto ciottoloso). Il cambiamento più netto ed evidente avviene poco prima di Kareli, presso Aradetis Orgora, dove il corso perde il carattere braiding e si concentra in un unico canale più sinuoso. Ciò sembra correlabile alla diminuzione di pendenza che consente anche la deposizione a monte di Kareli.

-In base alle informazioni raccolte, si può ipotizzare un'evoluzione del Kura dal tardo Pliocene in poi come segue.

Il Kura si formò con l'emersione del bacino di Kartalini circa 5 Ma fa, occupandone il depocentro dove sono conservati gli spessori maggiori di depositi alluvionali. Dal momento che esso si trova nella pianura a nord del Kvernaqi Range (si veda paragrafo 4.4.1.); il corso era in posizione simile a quello attuale fino a Kareli, ma descriveva un'ampia curva spostata molto più a nord (com. pers. Zura Janelidze) oltre l'attuale cittadina (fig. 35).

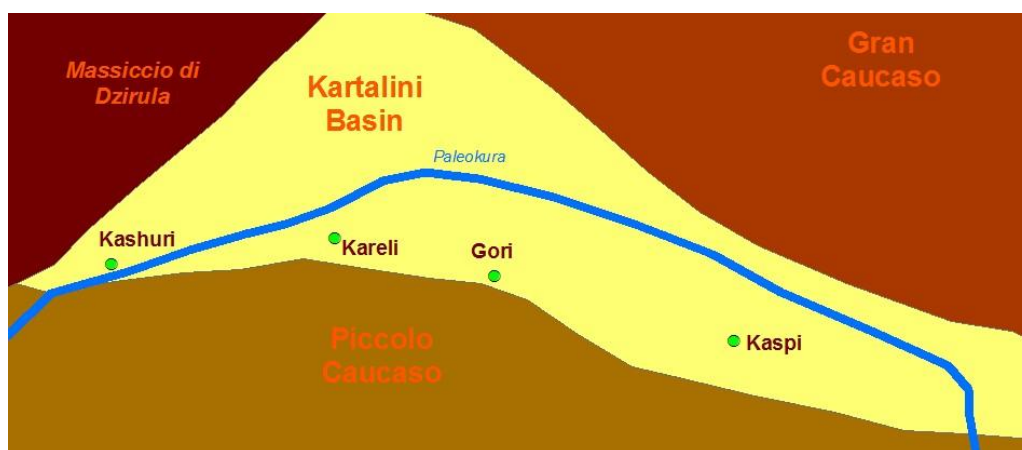


Fig. 35: il corso del Paleokura prima del sollevamento del Kvernaqi Range

Successivamente, con il graduale sollevamento dal Kvernaqi Range sviluppatosi da est ad ovest si è ostruita la valle presso Kaspi ed il Kura ha iniziato per avulsione ad occupare il corridoio tra lo stesso Kvernaqi Range ed il Piccolo Caucaso. Tale corridoio probabilmente rappresentava, in questa fase, la depressione più profonda e quindi il percorso più naturale per il fiume (fig. 36).

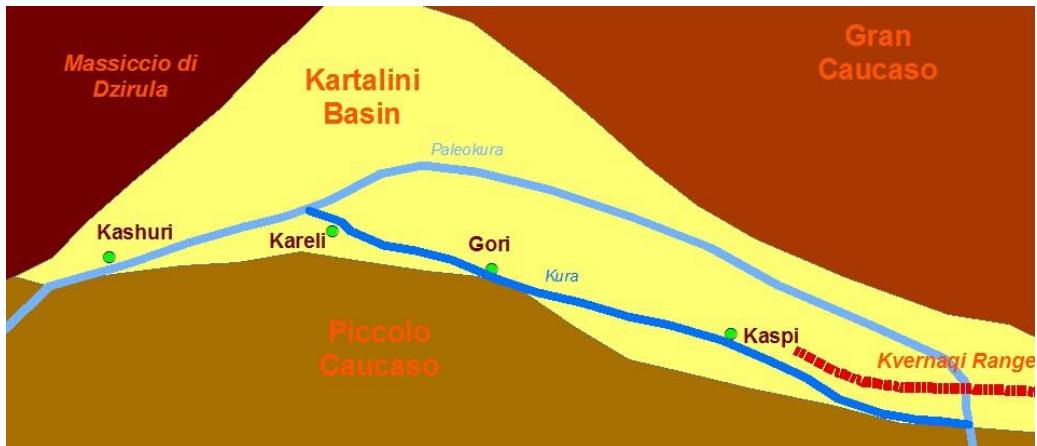


Fig. 36: il Kura si sposta occupando la posizione attuale mentre il Kvernaqi Range si solleva, probabilmente all'inizio del Quaternario

Il punto in cui è avvenuta l'avulsione, punto d'incontro tra il paleocorso ed il corso attuale, è, per altro, lo stesso dove il fiume cambia il suo corso da braided a wandering. Questo cambio è da imputarsi probabilmente all'uplift del Kvernaqi Range che influisce sulla vallata del Kura e che costringe il fiume ad incidere laddove, a monte di Kareli, esso deposita il proprio carico prima di giungere alla zona in uplift, andando in aggradazione.

Il Kura in tempi più recenti, nella zona di Agara e Kashuri, ha continuato a spostarsi verso sud (fig. 37), spinto probabilmente per processi tettonici che verranno approfonditi nel prossimo capitolo.

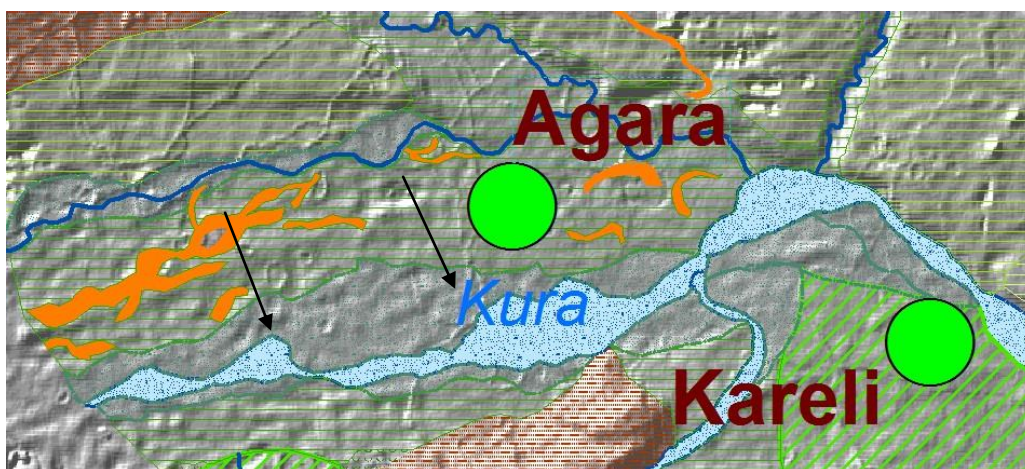


Fig. 37: il Kura è migrato gradualmente verso il Piccolo Caucaso, come testimoniato dai suoi paleoalvei

-Anche l'avulsione del Liakhvi testimoniata dal suo paleoalveo presso Kareli è un elemento importante dell'evoluzione della geomorfologia dell'area. L'avulsione è imputabile presumibilmente all'evoluzione tettonica della regione; probabilmente il fiume sfruttò per il proprio corso una forra già presente che attraversava il Kvernaqi Range incisa forse dal fiume Medjuda o da altri corsi d'acqua ora affluenti di sinistra del Liakhvi stesso (fig. 38).

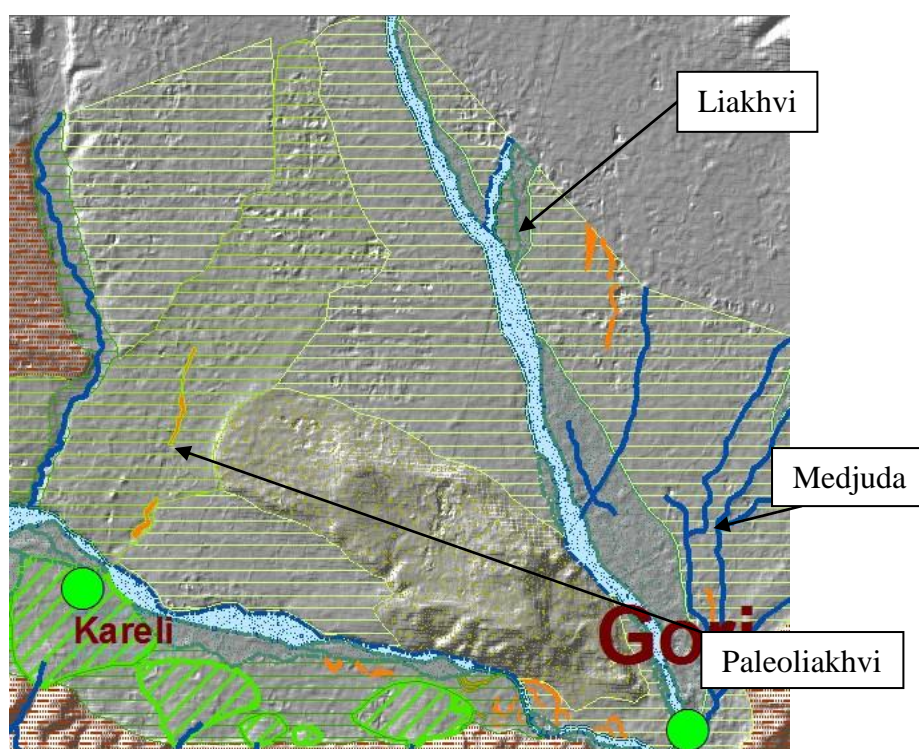


Fig. 38: in evidenza il Liakhvi ed il suo paleocorso

-Sono state sviluppate due diverse interpretazioni per spiegare i livelli alluvionali che seppellirono livelli archeologici esposti nella sezione di Aradetis Orgora:

- a) L'ultimo livello ghiaioso che copre i livelli archeologici risalenti all'Età del Bronzo potrebbe rappresentare l'ultima fase di aggradazione del fan alluvionale del Liakhvi e della sua progradazione verso sud. Il Liakhvi migrò poi verso est; successivamente, l'approfondirsi dell'alveo del Kura innescò l'incisione di questi depositi. In base alla differenza

d'altezza tra la superficie alluvionale del Paleoliakhvi e l'attuale letto del Kura, l'erosione totale stimata è di circa 5 mm/a, che sarebbe il risultato sia dell'incisione fluviale che dell'uplift dell'area.

- b) Il livello ghiaioso potrebbe essere ascrivibile ad un Paleokura che per un periodo fluì in corrispondenza del sito. Successivamente, dopo l'Età del Bronzo, il Kura fu forzato a migrare verso sud a causa dell'uplift in corso dovuto alla tettonica dell'area. In questo caso i 25 m di differenza d'altezza fra il Paleokura ed il Kura attuale sarebbero legati a questa attività tettonica.

Possiamo in conclusione fare una sintesi dell'evoluzione morfologica tardo terziaria/quadernaria dell'area di studio: essa ha sempre rappresentato dall'inizio dell'orogenesi del Gran Caucaso la depressione compresa tra esso e il Piccolo Caucaso. Durante il Pliocene la depressione gradualmente emerge, così tra Pliocene e Quaternario si imposta un reticolo idrografico ed il bacino diviene luogo di deposizione di sedimenti alluvionali. Si forma così una pianura alluvionale confinata, con un Paleokura che seguiva un percorso più a nord dell'attuale come già descritto. Contemporaneamente (tardo Pliocene) si innalza il Kvernaqi Range nel suo tratto più orientale, e lo svilupparsi di tale sollevamento durante il Quaternario fu probabilmente la causa dello spostamento del Kura a sud, circa nella posizione attuale (fig. 36). I suoi maggiori tributari di sinistra Ksani, Lekhura, Medjuda, Liakhvi vanno a tracciare i corsi che tuttora mantengono (a meno di avulsioni più recenti e relativamente meno importanti, come quella del Lekhura), attraverso la piana del Paleokura, e la conservano incidendo la catena del Kvernaqi (fig. 34) il cui sollevamento si propaga nel frattempo verso ovest, nella zona da essi attraversata. L'estremità occidentale del Kvernaqi Range si solleva in era quadernaria; in epoca presumibilmente più recente, il Liakhvi abbandona il proprio corso verso la zona dove oggi sorge Kareli e si sposta più ad est, come già descritto. L'uplift generale dell'area (fig. 11) e quello specifico del Kvernaqi Range che hanno continuato ad interessare l'area spiegherebbero i

depositi quaternari terrazzati rispetto il livello di base attuale e la forte incisione operata dalla rete idrografica. In questo modo si completa il quadro attuale.

Appare chiaro che l'assetto strutturale e l'evoluzione tettonica hanno avuto un ruolo fondamentale nello sviluppo della morfologia dell'area. Nel capitolo successivo approfondiamo questi aspetti.

5. STUDIO DI SINTESI GEOLOGICO-STRUTTURALE

5.1. Introduzione

Nel capitolo precedente è stato descritto come la geomorfologia dell'area segnali una tettonica attiva e recente (pliocenica e quaternaria). L'importanza dell'attività tettonica nell'area è ulteriormente corroborata dall'alta sismicità dei bacini transcaucasici (Philip et al., 1989; Triep et al., 1995) (fig. 10). L'indagine quindi dell'assetto strutturale dell'area è il passo successivo per ottenere un'idea più precisa sulle strutture direttamente correlabili all'evoluzione del bacino e il loro rapporto con elementi tettonici noti.

5.2. Indagine bibliografico/cartografica

L'analisi geologico-strutturale da noi sviluppata parte da una revisione e sintesi delle informazioni sull'assetto geologico-tettonico della regione in cui si trova l'area studio già presenti in letteratura. Combinando infatti le informazioni provenienti dalla carta geologica della Georgia 1:500.000 (Gudjabidze e Gamkrelidze, 2003) con informazioni ricavabili da Ershov et al. (1999) e Philip et al. (1989), è possibile tracciare uno schema preliminare dell'assetto tettonico regionale (fig. 39).

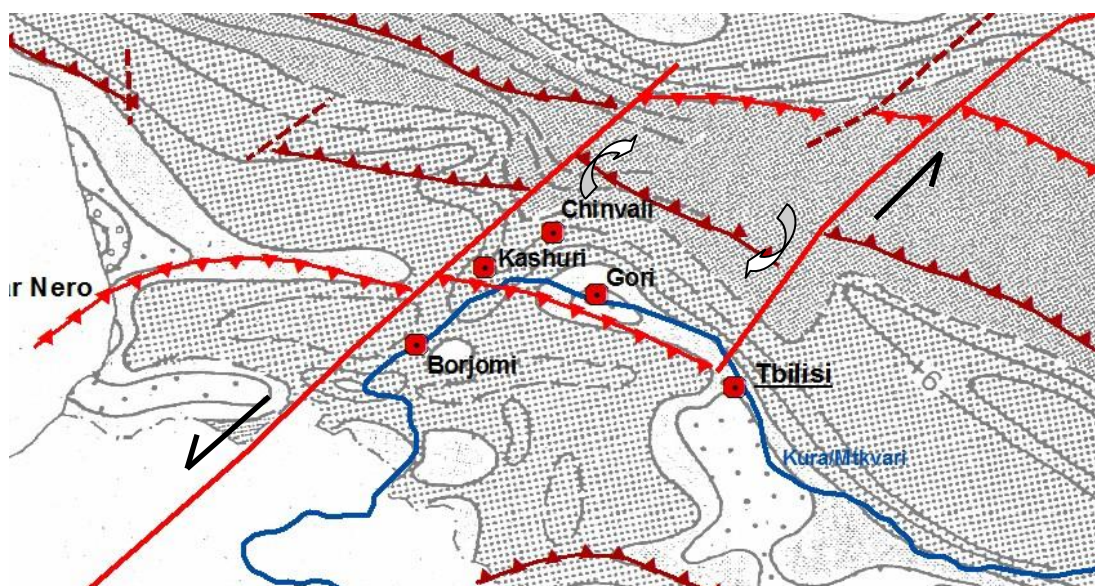


Fig. 39: mappa di uplift/ subsidenza come in fig. 11, con l'aggiunta dei più importanti lineamenti tettonici presenti nella regione.

L'assetto strutturale più probabile include le seguenti strutture principali:

- Il fronte meridionale della catena del Gran Caucaso costituito dall'allineamento di thrusts sud-vergenti (marrone scuro) a nord di Chinvali.
- Il fronte settentrionale del Piccolo Caucaso, che consiste in un allineamento di thrust nord-vergenti (rosso) a sud di Gori.
- La faglia Borjomi-Kazbeg, una grande trascorrente sinistra che corre subito ad ovest di Borjomi e Kashuri e che è stata già descritto in precedenza (vedi capitolo 3.1.3.1.);
- Un'altra trascorrente sinistra a nord di Tbilisi, segnalata in Philip et al., 1989; che assieme alla faglia Borjomi/Kazbeg potrebbe individuare un megastepover.

A conferma di tale interpretazione si constata che i bacini transcaucasici del Kura e del Rioni ai lati dello stepover sono in marcata subsidenza mentre al suo interno si registra una subsidenza da molto contenuta ad assente con fenomeni di sollevamento a ridosso della faglia di Borjomi/Kazbeg. Tale situazione porta

questo settore del bacino del Kura ad essere maggiormente sollevato rispetto all'area più a valle e quindi sede di generale erosione (si veda capitolo 4.4.2.).

5.3. La carta geologico-strutturale

La carta geologico strutturale è stata prodotta grazie all'integrazione e revisione della cartografia disponibile con i dati raccolti in campagna.

In particolare:

- La carta 1:500.000 di Gudjabidze e Gamkrelidze (2003) è stata utilizzata come riferimento per la cronologia relativa e la cartografia delle unità di substrato affioranti, nonché per definire la posizione delle faglie principali del fronte settentrionale del Piccolo Caucaso e quello meridionale del Gran Caucaso.
- Per la zona di Kaspi e di Okhera Khevi, la carta 1:500.000 è stata integrata con le informazioni ricavabili dalla carta geologica 1:25.000 della zona di Kaspi prodotta Kuparadze (2010). Tale carta ha permesso di controllare e correggere una parte degli affioramenti di substrato e di ricavare alcune giaciture in aree non controllate sul terreno.
- Le informazioni ottenute con lo studio delle due carte geologiche sono state completate e riviste in luce dei dati raccolti in campagna, ovvero giaciture e individuazione in panoramica di sinclinali, anticlinali, rilievi monoclinali, hogbacks, superfici strutturali (e. g. foto 11, 16, 21).

Attraverso la sintesi delle informazioni ottenute da queste diverse fonti, è stato possibile produrre la carta geologica del bacino di Kartalini, dove sono tracciate strutture non cartografate in precedenza. Ciò ha permesso di ottenere un quadro strutturale innovativo dell'area in esame.

Le strutture individuate costituiscono una cintura che percorre in direzione est-ovest l'area di studio e sono organizzate in un pattern che si configura come treno di pieghe e thrusts sud-vergenti.

Fronte settentrionale del Piccolo Caucaso. Costituito da importanti thrusts nord vergenti che si sono sviluppati tra Paleogene e Miocene portando talora unità mesozoiche e paleogeniche a sovrascorrere su unità di età miocenica,. Nella zona centrale dell'area di studio (presso Gori) è presente una faglia transpressiva destra ad orientazione ovest-nordovest/est-sudest, che disloca leggermente il fronte ed è probabilmente legata ad eventi successivi.

Fronte meridionale del Gran Caucaso: Si tratta di un sistema di strutture che deformano unità anche plioceniche; ciò è in accordo con la letteratura (e.g. Forte et al., 2010) che indica come l'orogenesi del Gran Caucaso si sia sviluppata successivamente a quella del Piccolo Caucaso e comunque a partire dal Miocene (si veda anche capitolo 3.1.2.). In questa zona il fronte ha uno strike nordovest/sudest ed appare visibilmente ruotato in senso orario rispetto al suo trend regionale alla scala dell'intera catena montuosa che risulta essere invece ovest-nordovest/est-sudest.

Il depocentro del bacino di Kartalini, subito a sud del fronte del Gran Caucaso, si configura come una grande sinclinale, con le unità plioceniche affioranti al nucleo.

Kura e Kvernaqi Range. Tale settore è caratterizzata da treni di pieghe e thrust est/sudest-ovest/nordovest, sud-vergenti, attivatesi in età pliocenico - quaternaria come dimostrato dalla loro influenza sull'evoluzione dell'idrografia del bacino del Kura e dal fatto che depositi di età quaternaria si presentano sollevati ad opera di questi elementi strutturali.

Tale sequenza di pieghe e thrust è separata dalla catena del Gran Caucaso dalla sinclinale situata al suo fronte, mentre coinvolge e deforma le strutture ascrivibili al fronte del Piccolo Caucaso,.

La già citata faglia transpressiva destra che disloca il fronte del Piccolo Caucaso sembra essere coeva alla cintura di pieghe e thrusts del Kvernaqi Range che suddivide in due domini (vedi carta geologico-strutturale)

Nel dominio orientale, la cintura di thrust e pieghe appare ben sviluppata ed associata ,a un maggior rilievo. Essa si blocca ad ovest contro la faglia transpressiva a direzione ovest-nordovest/est-sudest e si restringe ad oriente

dove le catene del Piccolo e Grande Caucaso tendono ad avvicinarsi; termina quindi a ridosso della faglia trascorrente sinistra indicata da Philip et al. (1989) presso Tbilisi.

Nel dominio occidentale, le strutture riflettono una deformazione più blanda nelle sebbene un thrust sud-vergente appartenente alla cintura del Kvernaqi Range si spinge verso il Piccolo Caucaso fino a tagliarne il fronte. Tutte le strutture si chiudono contro la grande faglia trascorrente Borjomi/Kazbeg a ovest.

5.4. Discussione

5.4.1. Commenti sull'influenza della neotettonica sulla geomorfologia

L'attività tettonica tardo-neogenica e quaternaria dell'area ha influenzato in modo determinante il corso del fiume Kura (si veda cap. 4.4.2.). Il fronte meridionale del Gran Caucaso e la cintura di pieghe e thrusts (Kvernaqi Range) tra esso e il Piccolo Caucaso hanno forzato il fiume a migrare sempre più a sud (fig. 35, 36, 37). La migrazione messa in evidenza in fig. 37 è legata probabilmente allo svilupparsi dell'anticlinale il cui asse passa immediatamente a nord dell'attuale valle del Kura. Riteniamo inoltre che anche il cambiamento di tipologia di alveo presso Kareli sia influenzato dalla tettonica: Infatti mentre a monte di Kareli il fiume passa attraverso una zona la cui deformazione è meno intensa (e di conseguenza l'uplift ha un tasso inferiore), a valle attraversa l'area dove la cintura di pieghe e thrusts è maggiormente sviluppata e presumibilmente quindi in uplift molto più marcato. Il sollevamento maggiore a valle forzerebbe perciò il fiume a incidere (alveo wandering o inforrato in roccia), e fungerebbe anche da sbarramento in modo tale da portare il tratto del fiume a monte ad aggradare (alveo braided) (Schumm et al., 2002).

È inoltre possibile che lo sviluppo recente delle anticlinali nella zona occidentale abbiano avuto un ruolo nella avulsione del Liakhvi, sbarrando il suo paleocorso e portandolo a trovare un corso più logico nella forra preesistente del Medjuda o fiumi attigui.

Anche gli insediamenti del sito di Aradetis Orgora sono stati probabilmente influenzati dall'evoluzione tettonica e geomorfologica dell'area (si veda capitolo 6).

5.4.2. Discussione del modello strutturale

L'elemento strutturale che più influenza l'evoluzione morfologica dell'area in studio e la cui origine merita di essere discusso è il Kvernaqi Range. Tale cintura di pieghe e faglie potrebbe venire interpretata come l'avanzamento verso sud del fronte meridionale del Gran Caucaso. In tal caso essa costituirebbe una struttura analoga alla Kura Fold and Thrust Belt descritta da Forte et al., 2009 ad oriente di Tbilisi. Tuttavia il Kvernaqi Range è disassato rispetto alla Kura Fold and Thrust Belt, che è situata in posizione più settentrionale

Tale evidenza mi ha spinto a considerare un'ipotesi alternativa che da maggiore peso all'influenza della faglia trascorrente sinistra Borjomi/Kazbeg e della sua possibile vicariante supposta da Philip et al. (1989) presso "Tbilisi". Queste due faglie infatti individuano un megastepover di 100 km di larghezza ove sono confinate le strutture compressive riconosciute del Kvernaqi Range. Data la cinematica sinistra delle due faglie tale stepover individuerebbe infatti un'ampia area di restraining bend.

A favore di tale ipotesi sarebbe:

- 1) L'isolamento del Kvernaqi Range rispetto al fronte del Gran Caucaso
- 2) Il carattere geometrico-strutturale del treno di pieghe e faglie caratterizzato da una stretta cintura in sollevamento in cui la spaziatura tra i diversi thrust è assai contenuta (>5 km) (Mann).

- 3) Il relativo sollevamento dell'area confinata dallo stepover rispetto al generale abbassamento che si registra all'interno del bacino transcaucasico del Kura (fig. 39)
- 4) La rotazione in senso orario che il fronte del Gran Caucaso mostra tra le due faglie trascorrenti di Borjomi/Kazbeg e Tbilisi (fig. 39 e carta geologica).
- 5) La faglia trascorrente destra individuata nel settore centrale dell'area di studio perfettamente compatibile con lo stepover tra due faglie trascorrenti sinistre.

6. EVOLUZIONE DEL BACINO E ARCHEOLOGIA

Le ultime fasi dell'evoluzione geomorfologica dell'area sono potenzialmente importanti fattori di influenza degli insediamenti antropici. Vediamo quindi come ciascun sito sia stato influenzato o meno da tale evoluzione.

A Okhera Khevi i Kurgan sorgono su un terrazzo che già all'epoca della loro erezione non veniva più sommerso dalle esondazioni del Kura. La successiva graduale incisione del Kura nel suo alveo ha lasciato geomorfologicamente stabili le aree attigue alle sue rive.

Nella zona di Natsargora l'assenza di processi di deposizione significativa e l'opera del dilavamento superficiale indica come accumuli di materiale presso i siti possano essere solo antropici (per esempio per la costruzione di terrapieni) e che i siti non possono essere stati seppelliti se non da scarse coperture di colluvio alla base di pendii.

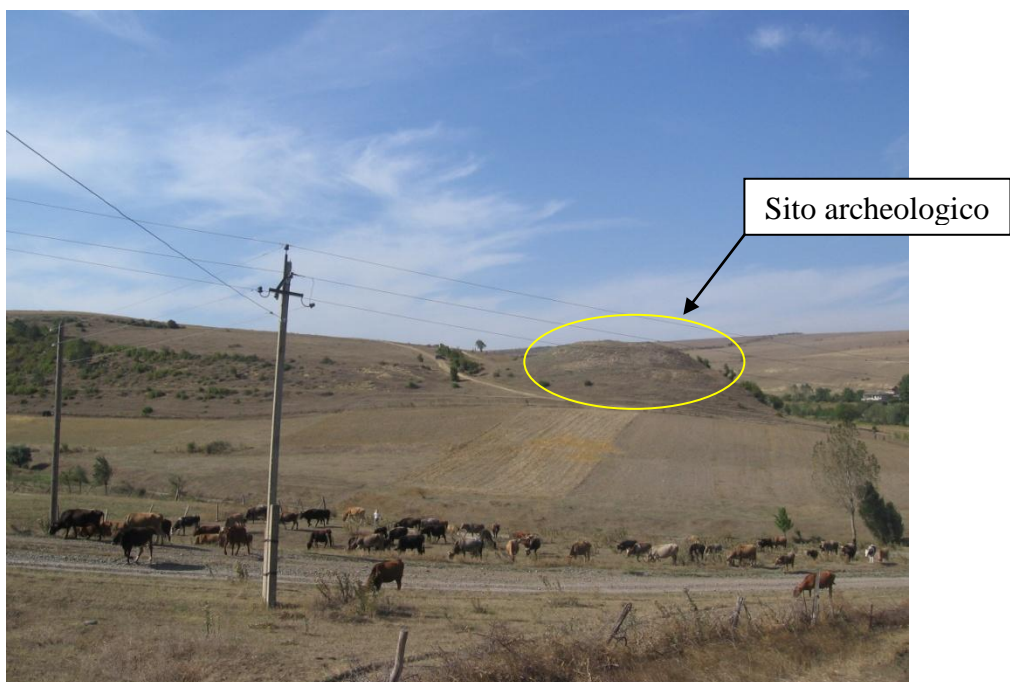


Foto 34: il sito di Natsargora

Nelle aree adiacenti a questi due siti (i.e. Okhera Khevi e Natsargora) ci si aspetta dunque che altri possibili resti di costruzioni coeve o successive a quelle già rinvenute siano sepolti da spessori di sedimento fine, pedogenizzato, inferiori al metro.

La situazione della zona di Aradeti Orgora è invece completamente diversa: qui i processi fluviali sono stati preponderanti anche in epoca tardo-olocenica, tanto da interessare in modo determinante anche gli insediamenti antropici. I livelli alluvionali che hanno sepolto quelli antropici dell'Età del Bronzo, indicano la presenza di un'asta fluviale in aggradazione, durante questo periodo e forse fino all'Età Romana. Questo corso d'acqua potrebbe essere stato il Kura, il Prone o il Paleoliakhvi. Successivamente, l'incisione operata dal fiume Kura ha esposto la successione di depositi formatisi durante l'aggradazione. Riteniamo che un tasso di erosione così elevato (circa 25 m in meno di 4000 anni, in una valle ampia qualche km) sia associato all'uplift localizzato sulla sponda nord del Kura dovuto allo sviluppo della anticlinale al margine settentrionale del Kvernaqi Range; verosimilmente lo stesso fenomeno di sollevamento ha forzato il Kura a migrare verso sud. Qualora l'intera elevazione di 25 m degli ultimi livelli alluvionali dalla piana odierna sia imputabile al sollevamento tettonico, avremmo un tasso di sollevamento di almeno 6 mm/anno. Riteniamo questo probabile data la scarsa erosione fluviale dovuta ad altri fattori che ci aspettiamo in un lasso di tempo in cui non sono avvenuti grandi cambiamenti climatici. Inoltre tale stima del sollevamento è di fatto conservativa, in quanto si prende come età di riferimento il livello dell'Antica Età del Bronzo datato con il radiocarbonio (rapporto interno), ma le alluvioni che lo hanno sepolto sono ovviamente più recenti.



Foto 35: Aradetis Orgora, dove sono esposti i livelli archeologici dell'Età del Bronzo, sullo sfondo; esso è elevato di 30 m sulla piana attuale del Kura

In conclusione, possiamo affermare che nella zona di Aradetis Orgora, i livelli archeologici dell'Età del Bronzo si trovano in condizioni fortemente legate alle dinamiche fluviali a loro volta condizionate dalla tettonica attiva della regione. In particolare tali livelli sono stati sepolti da spessori di alcuni metri di depositi alluvionali a nord dell'incisione del Kura, mentre a sud potrebbero essere stati rielaborati ed erosi dal Kura stesso durante le sue divagazioni nella piana.

7. CONCLUSIONI

In questo capitolo proverò a tracciare una breve sintesi sull'evoluzione di un'area, che va dall'assetto strutturale regionale alla scala dell'intero orogene, alle ultime trasformazioni geomorfologiche quaternarie.

L'orogenesi del Gran Caucaso inizia nel Miocene Superiore, quando il microcontinente del Piccolo Caucaso, su cui si è impostato l'arco insulare associato alla subduzione della crosta oceanica della Tetide, collide con la placca eurasiatica (Golonka, 2004; Mitchell e Westaway, 1999; Ershov et al., 1999). Hanno quindi origine, lungo il margine meridionale della placca eurasiatica, le pieghe e i sovrascorrimenti sud-vergenti del Gran Caucaso. Tra il Piccolo e il Gran Caucaso rimangono delle aree depresse riempite da flysch e molasse, dette bacini transcaucasici, che vengono abbandonate dal mare circa 5 Ma fa (Philip et al., 1989, Mitchell e Westaway, 1999). La migrazione verso nord del blocco del piccolo Caucaso è delimitata da sistemi di faglie trascorrenti (sinistre a ovest e destre a est) che lo isolano da settori dove la tettonica ha uno sviluppo differente (vedi capitolo 3.1.3.). Il segmento settentrionale del sistema di faglie a cinematica sinistra al margine occidentale del blocco del Piccolo Caucaso è costituito dalla faglia Borjomi/Kazbeg.

Il bacino transcaucasico di Kartalini si trova a ridosso della faglia Borjomi/Kazbeg e, come evidenziato dal telerilevamento e dall'analisi di campagna, mostra un'evoluzione strutturale piuttosto particolare. Al suo interno si sono infatti sviluppate strutture compressive differenti sia da quelle nord-vergenti del fronte settentrionale del Piccolo Caucaso, sia da quelle sud-vergenti del Gran Caucaso. Esse sono costituite da una cintura di pieghe e thrust sud-vergenti con andamento circa est-ovest che hanno formato durante il Quaternario una stretta catena montuosa (Kvernaqi Range) situata al centro del bacino stesso. Tali strutture sono limitate ad ovest dalla faglia trascorrente di Borjomi/Kazbeg e ad est da un lineamento con la medesima direzione passante a nord di Tbilisi. La sovrapposizione di questi due segmenti si configura in uno

stepover contrazionale poi evoluto in restraining bend, la cui espressione sul terreno è data dalla cintura di pieghe e thrust di Kvernaqi.

Lo svilupparsi di quest'ultima struttura ha influenzato fortemente la geomorfologia dell'area. Essa è passata infatti da un bacino caratterizzato da alvei in aggradazione che accoglievano i materiali erosi dalle catene montuose circostanti, ad un'area in generale sollevamento e quindi incisa dalla rete idrografica. In particolare il rilievo del Kvernaqi in sollevamento ha forzato in tempi recenti il fiume principale che drena il bacino, il Kura, ad abbandonare il depocentro del bacino stesso e a migrare verso sud. Analogamente i suoi maggiori affluenti di sinistra, intersecati dalla catena di colline in sollevamento, hanno in esso inciso valli trasversali mentre l'idrografia minore ha subito deviazione.

Il continuo e graduale sviluppo delle strutture di restraining bend del Kvernaqi ha continuato a influenzare la geomorfologia anche nel tardo Olocene. Il sito archeologico di Aradetis Orgora mostra chiaramente livelli alluvionali più recenti dell'Età del Bronzo portati a un'altezza di circa 25 m al di sopra della piana alluvionale attuale. Ciò permette di fissare il tasso di sollevamento dell'area a circa 6 mm/anno.

BIBLIOGRAFIA

Adamia, Sh. A., Lordkipanidze, M. B., Zakariadze, G. S. (1977) Evolution of an active continental margin as exemplified by the Alpine history of the Caucasus. *Tectonophysics*, 40, 183-199.

Bertoldi, L. (2009) Remote sensing and geological support to archeological mission "Georgia 2009-Ca'Foscari"-preliminary result, rapporto interno.

Castiglioni, G. B. (1986) *Geomorfologia*, seconda edizione, UTET Torino

Ershov, A. V., Brunet M. F., Korotaev M. V., Nikishin A. M., Bolotov S. N. (1999) Late Cenozoic burial history and dynamics of the Northern Caucasus molasse basin: implication for foreland basin modeling. *Tectonophysics*, 313, 219-241.

Forte, A.M., Cowgill, E., Bernardin T., Krylos O., Hamann B. (2010) Late Cenozoic deformation of the Kura fold-thrust belt, southern Greater Caucasus. *GSA Bulletin*, 122 (3/4), 465-486.

Gamkrelidze, I.P. (1986) Geodynamic evolution of the Caucasian and adjacent areas in Alpine time. In: L. P. Zonshain (Editor), *Tectonics of the Eurasian Fold Belts*. *Tectonophysics*, 127, 261-277.

Georgian-Italian Shida Kartli Archeological Project (Geologist support-proposal), 2009, rapporto interno.

Golonka, J. (2004) Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. *Tectonophysics*, 381, 235-273.

Gudjabidze, G. E., Gamkrelidze, I. P. (2003) Geological Map of Georgia, 1:500.000. Georgian State Department of Geology and National Oil Company “Saqnavtobi”.

Jackson, J. (1992) Partitioning of strike-slip convergent motion between Eurasia and Arabia in eastern Turkey and the Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 97, 12,471-12,479.

Jackson, J., McKenzie, D. (1984) Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77, 185-264.

Kuparadze, D. (2010), Geological Map of Kaspi Area 1:25.000, rapporto interno.

Lilienberg, D. A. (1980) Obshshie i regionalnye zakonomernosti sobremennoi geodinamiki Kavkaza (po geomorfologicheskim i instrumentalni dannim). *Sobremenniy Dbizheniya Zemnoi Kori. Naukova Dumka, Kiev*, 204-217.

Mann, P., (2007), Global Catalogue, classification and tectonic origins of restraining- and releasing bends on active and ancient strike-slip fault systems, from Cunningham, W. D. & Mann, P., *Tectonics of Strike Slip Restraining and Releasing Bends*, Geological Society, London, Special Publications, 290, 13-142.

McKenzie, D. (1972) Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.

Ministero dell'Università e della Ricerca scientifica e tecnologica, Comitato Consultivo del C.N.U. n° 4 “Scienze della Terra” (1997) Carta geomorfologica della Pianura Padana, scala 1:250.000.

Mitchell, J., Westaway, R. (1999) Chronology of Neogene and Quaternary uplift and magmatism in the Caucasus: constraints from K-Ar dating of volcanism in Armenia. *Tectonophysics*, 304, 157-186.

Nadirov, R. S., Bagirov, E. B., Tagiyev, M. F., Lerche, I. (1997) Flexural part of subsidence, sedimentation rates, and structural development of the super-deep South Caspian Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 14, 383-400.

Philip, H., Cisternas, A., Gvishani, A., Gorshkov, A. (1989) The Caucasus: an actual example of the initial stages of continental collision. *Tectonophysics*, 161, 1-21.

Reilinger, R. E., McClusky, S. C., Souter, B. J., Hamburger, M. W., Prilepin, M. T., Mishin, A., Guseva, T., Balassanian, S. (1997) Preliminary estimates of plate convergence in the Caucasus collision zone from global positioning system measurements. *Geophys. Res. Lett.*, 24 (14), 1815-1818.

Roads Department of the Ministry of Regional Development and Infrastructure of Georgia (2009) Upgrading of the Sveneti–Ruisi Section (km 80 – km 95) of the East-West Highway; Environmental Impact Assessment.

Servizio Geologico Nazionale, Gruppo Nazionale di Geografia Fisica e Geomorfologia (1994) Carta Geomorfologica d'Italia – 1:50.000, Guida al Rilevamento.

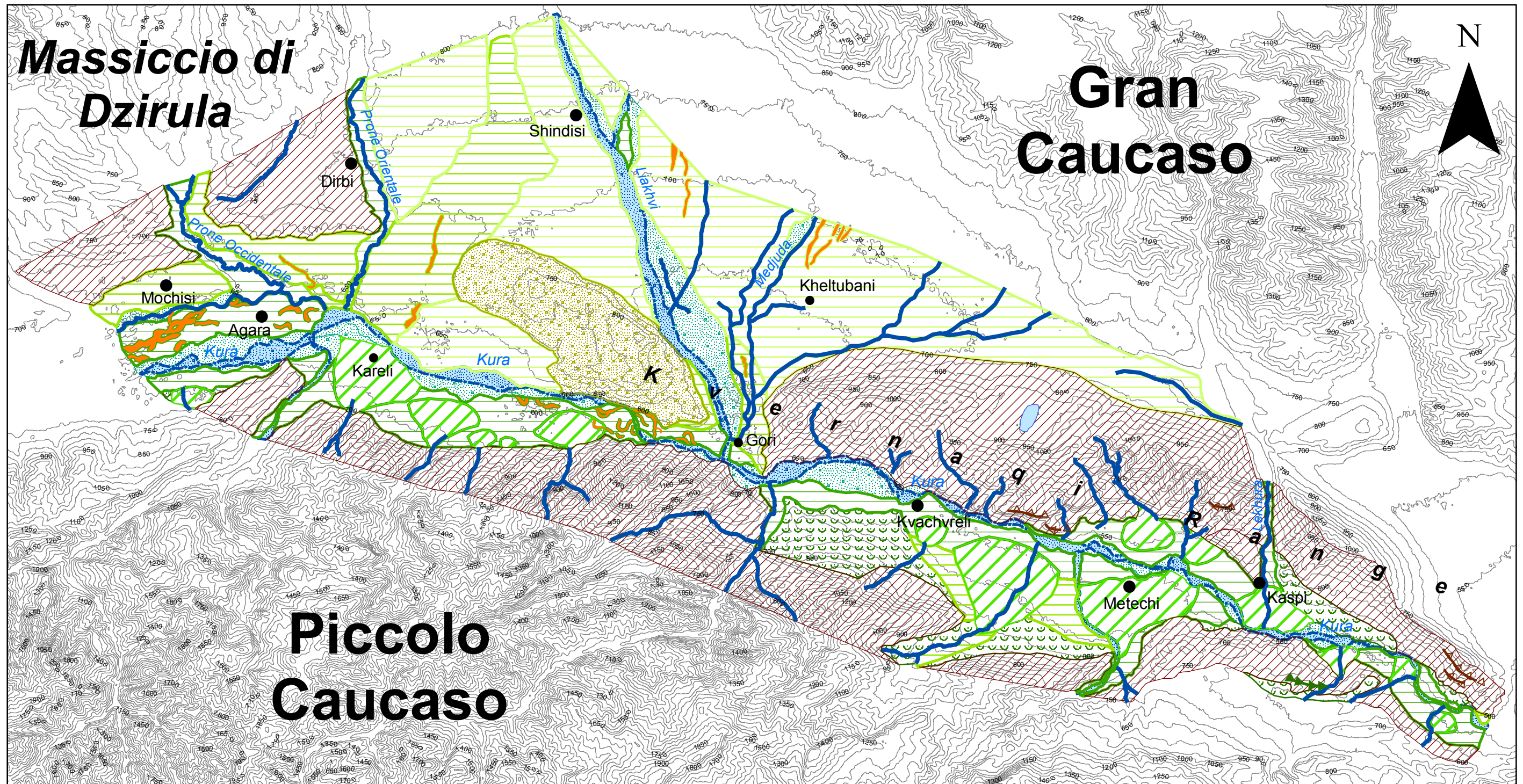
Schumm S. A., Dumont J. F., Holbrook J. M. (2002) *Active Tectonics and Alluvial Rivers*, Cambridge.

Triep, E. G., Abers, G. A., Lerner-Lam A. L. (1995) Active thrust front of the Greater Caucasus: The April 29, 1991, Racha earthquake sequence and its tectonic implications. *Journal of Geophysical Research*, 100, 4011-4033.

Zonenshain, L. P., Le Pichon, X. (1986), Deep basins of the Black Sea and Caspian Sea as remnants of Mesozoic back-arc basins. *Tectonophysics*, 123, 181-211.

CARTA GEOMORFOLOGICA DEL BACINO DI KARTALINI, GEORGIA

Scala 1:200.000



Legenda

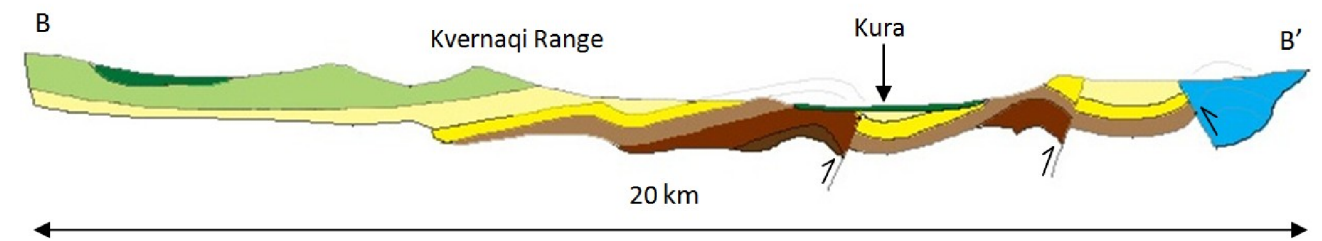
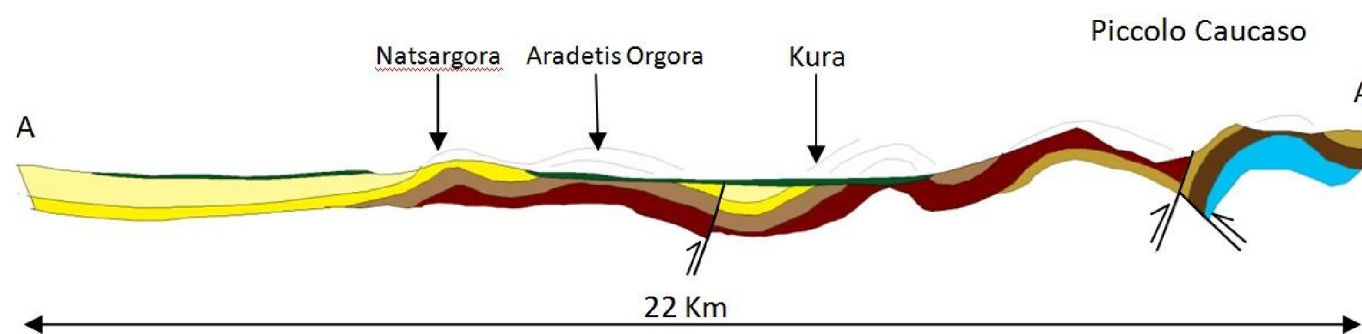
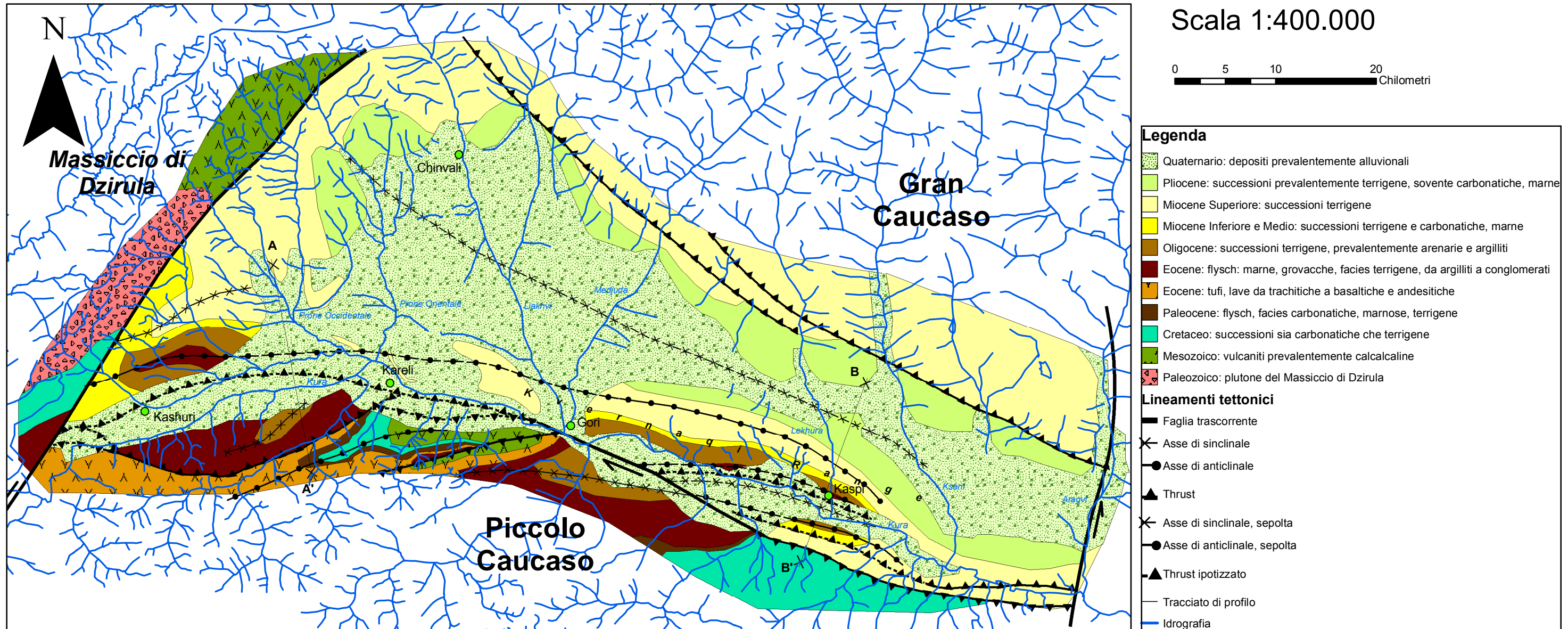
UNITA

	Bedrock affiorante o subaffiorante		Terrazzo fluviale 1		Alveo attivo		Vallecola da ruscellamento concentrato
	Depositi alluvionali antichi		Terrazzo fluviale 2		Paleoalveo		Orlo di monoclinale
	Conoide alluvionale		Terrazzo fluviale 3		Piana inondabile		Corso d'acqua
			Deposito colluviale		Lago		

Questa carta è stata realizzata per la tesi di laurea "Evoluzione tettonica e geomorfologica del Bacino di Kartalini, Georgia" presentata nel marzo 2011

Laureando: Alberto Stinghen
 Relatore: M. Massironi
 Corelatori: S. Furlani, G. Monegato
 con la collaborazione di L. Bertoldi

CARTA GEOLOGICO-STRUTTURALE DEL BACINO DI KARTALINI, GEORGIA



Esagerazione verticale dei profili: x2

Questa carta è stata realizzata per la tesi di laurea "Evoluzione tettonica e geomorfologica del Bacino di Kartalini, Georgia" presentata nel marzo 2011

Laureando: Alberto Stinghen
 Relatore: M. Massironi
 Corelatori: S. Furlani, G. Monegato
 con la collaborazione di L. Bertoldi