Sulle sponde dell'Oceano

Himalaya e Karakorum contengono resti di un antico oceano

Maurizio Gaetani*
(CAI SEM, Milano; Himalayan Club, Bombay)

Cercare un oceano in Himalaya e in Karakorum può apparire per lo meno peregrino, trattandosi di altissime montagne. Tuttavia, anche se buona parte delle due catene è costituita da rocce ignee o metamorfiche formanti molte delle cime più alte — quelle più note nel mondo alpinistico — le rocce sedimentarie non metamorfosate sono diffuse soprattutto sui versanti settentrionali di entrambe le catene (fig. 1). Hanno poi l'onore di formare addirittura la sommità dell'Everest. Sullo Zhumolungma infatti i cinesi hanno trovato fossili del Paleozoico inferiore, sopra la famosa «Banda Gialla». Ma al di là di queste curiosità, dallo studio delle successioni sedimentarie affioranti in queste due catene, si può avere un quadro piuttosto completo della storia dell'Oceano Neotetide in questa parte della Terra.

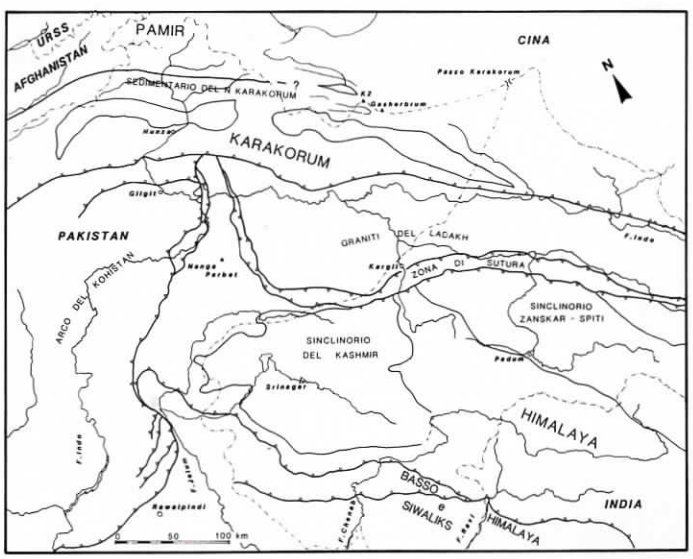

Fig. 1 - Schema geologico del Karakorum e Himalaya occidentale, con i principali elementi paleogeografici e strutturali qui discussi. Si noti che le successioni sedimentarie di margine continentale passivo si trovano solo sui versanti settentrionali delle due catene.

CHE COS'È LA NEOTETIDE?

Penso che molti avranno almeno una volta osservato una ricostruzione della distribuzione delle terre e dei mari, quando tutti i continenti erano saldati insieme a formare la Pangea, mentre l'oceano che lo avvolgeva spingeva un ampio cuneo entro le terre emerse a formare una via d'acqua chiamata Tetide (cf. anche Casati & Forcella, Boll. CAI, 1985). Oggi entro la Tetide si riescono a distinguere due parti, una più settentrionale che era la via d'acqua esistente nel Permiano, tra 280-250 milioni di anni or sono, e che viene chiamata Paleotetide, ed una più meridionale, che prende il nome di Neotetide. Questo era un oceano che si andò formando lungo il margine meridionale della Paleotetide al contatto con il supercontinente di Gondwana. Questo oceano durò poco più di 200 milioni di anni, dalla sua apertura alla definitiva chiusura, dovuta dapprima alla subduzione, cioè al sottoscorrimento di crosta oceanica della Neotetide stessa sotto i continenti e le grandi isole che ne costituivano il margine settentrionale. La chiusura si concluse con la collisione del margine continentale meridionale con quello settentrionale. La somma di questi due fenomeni, subduzione più collisione, ha dato origine alle catene di montagne più imponenti. La chiusura è stato un fenomeno complicato, in più fasi, iniziata circa 100 milioni di anni or sono e per certi aspetti non ancora terminata. Da questo immane scontro, pur con varianti locali, sono sorte Alpi, Ellenidi, Tauridi, Iranidi, Karakorum, Himalaya, sino alle montagne dell'Indocina e del Borneo. Dell'antico Oceano Neotetide, largo sino a 3000 km, non è rimasta altra traccia, se non brandelli della sua crosta oceanica pinzati nelle grandi fratture oppure obdotti, cioè carreggiati sopra, a sistemi di lembi di crosta continentale impilati in falde. Molto meglio conservati sono invece i margini continentali di questo oceano, cioè quelle zone con crosta continentale che stavano alla periferia delle zolle continentali prospicienti l'oceano ed erano per lo più ricoperte da mari poco profondi. Questi margini, a causa del loro sprofondamento più o meno intenso, legato all'espansione dell'oceano antistante, possono accogliere consistenti successioni di sedimenti. I sedimenti rappresentano l'espressione fisica del tempo geologico e attraverso la loro natura, le loro modalità di deposizione, i fossili in essi contenuti, noi abbiamo una precisa chiave di lettura della storia dei margini dell'oceano e quindi almeno in parte anche dell'oceano stesso. Possiamo sapere cioè quando e come il margine si è evoluto e almeno nelle linee generali anche perché si è evoluto in quel modo.

Le spedizioni geologiche italiane recenti

Sulla base di queste premesse abbiamo condotto tre spedizioni di geologi dell'Università di Milano (A. Nicora, F. Jadoul, E. Garzanti, A. Tintori), più R. Casnedi di Pavia. Inoltre un gruppo di petrografi di Torino (U. Pognante, B. Lombardo, Pc. Rossetti, U. Genovese) ha studiato l'Alto Himalaya del Lahul. Il riconoscimento preliminare lo avevo fatto nel 1977, con G. Buscaini e S. Metzeltin. Ma allora gli scopi erano decisamente più alpinistici, ed era ovvio con alpinisti di quel calibro. Per l'Himalaya abbiamo selezionato lo Zanskar in Ladakh, situato nella parte occidentale della catena. La scelta è stata motivata dalla relativa facilità di accesso e soprattutto dalla non necessità di permessi speciali. Altre aree favorevoli sarebbero Spiti, l'alto Kumaon, il Dolpo e la zona a N dell'Annapurna in Nepal, che però è già stata abbastanza studiata dai francesi. Anche la fascia a N del Manaslu, Cho Oyu, Everest sarebbe assai interessante, ma è tutta in territorio tibetano, per cui sono necessari permessi molto speciali da parte delle autorità cinesi. La successione dello Zanskar si è dimostrata sufficientemente emblematica per gran parte della catena himalayana. Per il Karakorum invece le possibilità sono più ristrette. Qualche cosa si può osservare in Chitral, ma il meglio è nell'alto Hunza, per quanto concerne il territorio pakistano. Altrimenti si finisce nuovamente in territorio cinese sul versante N del K2. Si tratta di quella valle Shaksgam e zona del passo Aghil su cui le uniche informazioni geologiche so-

* *Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano.*

no tuttora quelle che Desio assai avventurosamente ottenne nel 1929, durante la spedizione geografica del Duca di Spoleto. Peraltro questa area è oggi attraversata dalle spedizioni che vanno al versante N del K2, ma sinora nessun nuovo lavoro geologico è stato pubblicato. Noi abbiamo lavorato in alto Hunza, grazie ad un prezioso permesso accordatoci dal governo pakistano nel 1986, che ci ha consentito non solo di studiare lungo la Karakorum Highway, ora aperta del tutto al turismo, ma anche di lavorare nelle laterali, verso il confine afghano, cioè verso il Wakhan.

LA NEOTETIDE VISTA DALL'HIMALAYA

In Himalaya affiora una successione sedimentaria, prevalentemente marina, che si è deposta al margine meridionale della Neotetide. Inoltre lungo la valle dell'Indo, in corrispondenza della cicatrice che marca la fascia dove si è definitivamente chiuso l'oceano durante la collisione, sono presenti sedimenti profondi e rocce ofiolitiche, tipiche della crosta oceanica che si forma quando l'oceano è in espansione (fig. 2).

Fig. 2 - La zona di sutura tra Lamayuru e la valle dell'Indo, in Ladakh. Di tutto il fondo oceanico della Neotetide rimangono solo le due bande bluastre di serpentiniti estremamente fratturate che si possono osservare di fronte alla strada Kargil-Leh. In corrispondenza di questa cicatrice una volta si estendeva un oceano, che raggiunse sino a 3000 km di larghezza.

Nello Zanskar vero e proprio invece affiora la successione marina di bassa profondità, quella che era più vicina alla costa e che subisce più marcatamente gli influssi delle aree emerse.

Le prime fasi dell'apertura

La storia comincia 290 milioni di anni or sono, intorno al limite Carbonifero - Permiano. Allora l'India, parte integrante del supercontinente di Gondwana, si trovava nell'emisfero S a una latitudine piuttosto elevata, almeno 40 gradi di latitudine S. Intorno alla fine di questo periodo, una estesa glaciazione occupava l'area antartica, già in posizione polare australe, ma spingeva le sue lingue anche nell'Africa, in America meridionale, in Oman, in India. Tutte queste zolle erano infatti saldate insieme e la presenza di una glaciazione contemporanea fu una delle prove più forti che Wegener addusse per sostenere la sua teoria della «Deriva dei Continenti». Questa estesa glaciazione produceva grandi fiumane cariche di detrito. Inoltre essendo una parte dell'acqua della Terra intrappolata sui continenti, essa mancava al sistema oceanico, che quindi aveva un livello più basso. Sul margine indiano dunque si era in condizioni subaeree, con alluvioni di tipo fluvioglaciale. Non si hanno mai prove sicure di morene, che si trovavano più a S. Intorno ai 270 milioni di anni però avvenne un fatto nuovo. La crosta comincia a stirarsi e a lacerarsi, perché lembi del margine gondwaniano tendono a staccarsi e ad allontanarsi verso N. È il blocco irano-afghano, è il Karakorum, è il blocco di Lhasa in Tibet. Una situazione abbastanza simile all'attuale Mar Rosso. L'Arabia è geologicamente del tutto affine all'Africa, da cui ha iniziato a staccarsi e il Mar Rosso è un oceano in embrione. L'oceano che si andava formando, la Neotetide, provocò una serie di fratturazioni anche nel margine continentale, che rimarrà attaccato alla zolla indiana. Attraverso queste fratturazioni risalirono vaste masse di lava, i Panjal Traps, dalla catena del Pir Panjal in Kashmir dove sono particolarmente diffusi. Queste ampie colate sono pure presenti al margine del Mar Rosso sia sul lato etiopico che su quello arabico (fig. 3).

Fig. 3 - La piana di Padum in Zanskar, dominata verso N da una estesa placca di lave scure che attraversano quasi in orizzontale il paesaggio. Si tratta dei Panjal Traps, espansioni laviche legate alle prime fasi di individuazione della Neotetide, che provocarono tensioni e risalite di magmi ai suoi margini.

Fig. 4 - Con lo sprofondamento del margine continentale gli organismi marini di mare aperto, come le Ammoniti, popolarono anche queste aree marginali della Neotetide, Tanze, Zanskar orientale, Himalaya.

Lo stiramento della crosta ne provoca l'assottigliamento, con conseguente maggiore tendenza a sprofondare, la cosiddetta subsidenza. Per cui su vaste aree del margine indiano che prima erano continentali ora si stende il mare. È un mare che rapidamente acquisisce profondità di diverse centinaia di m. Organismi pelagici ne popolano le acque, i cui resti fossili oggi possiamo raccogliere (fig. 4). Poi, quando gli effetti dello stiramento iniziale si attenuarono progressivamente, anche la tendenza allo sprofondamento si ridusse e gli apporti di sedimenti dalla terraferma adagio adagio colmarono questo mare marginale all'oceano che si andava formando più a N. Si ritornò a condizioni marine poco profonde, dove subsidenza e accumulo di sedimenti per lo più carbonatici (fig. 5) ricchi in fossili (fig. 6) si bilanciano per almeno 50 milioni di anni sino alla fine del Giurassico medio, cioè sino a 150 milioni di anni or sono. Nelle fasi di relativo abbassamento del livello del mare prevalgono invece arenarie policrome (fig. 7). È comportamento molto caratteristico del margine di un continente, quello indiano, che fronteggia un oceano in espansione, la Neotetide appunto. Poi un maggiore apporto di argilla bloccò la sedimentazione carbonatica, sempre a profondità limitate, e per altri 30 milioni di anni continuò in queste condizioni di profondità difficilmente superiori ai 200 m, con le Spiti Shales. Ma se andiamo verso la Valle dell'Indo, verso l'Oceano vero e proprio, allara si incontrano sedimenti prevalentemente argillosi più profondi, entro cui emergono giganteschi blocchi di rocce calcaree deposte a bassa profondità e poi scivolate, quando già litificate, verso profondità maggiori. Esse si staccarono dal margine continentale per tensioni connesse all'apertura dell'oceano (fig. 8).

E dall'altra parte, sull'altra sponda dell'Oceano, cosa succedeva? Andiamo a vedere in Karakorum.

Fig. 5 - Con il ritorno a condizioni meno profonde si instaurarono estese piattaforme carbonatiche epicontinentali, i cui sedimenti piegati formano oggi fantastici giochi di forme e di luci. Honupatta, Zanskar settentrionale, Himalaya.

Fig. 6 - Lamellibranchi riferibili al genere Neomegalodon. *Questi molluschi molto caratteristici del Triassico superiore delle nostre Dolomiti sono assai diffusi anche nei sedimenti poco profondi del Karakorum e dell'Himalaya. Zangla, Zanskar centrale, Himalaya.*

Fig. 7 - Deformazioni nelle successioni arenacee continentali e marine del Triassico superiore dello Zanskar. Durante i momenti di livello più basso del livello del mare, i fiumi acquistavano maggiore capacità di erosione sul continente indiano e convogliavano notevoli quantità di sabbie sul margine continentale della Neotetide.

LA NEOTETIDE VISTA DAL KARAKORUM

Le prime fasi dell'apertura

I fatti e le interpretazioni che si possono dare sul Karakorum sono ancora piuttosto grezzi, perché il versante settentrionale di questa catena ha potuto essere studiato con un certo dettaglio solo la scorsa estate. Non tutti gli esami di laboratorio sono terminati e quindi non sono state ancora sfruttate appieno le potenzialità della circa mezza tonnellata di «sassi» che abbiamo portato a casa.

Sappiamo tuttavia che dopo un periodo di condizioni continentali alla base del Permiano, l'ingressione marina generalizzata avvenne verso la fine del Permiano inferiore, circa 270 milioni di anni or sono, quindi circa 20 milioni di anni prima che in Himalaya. Il mare poco profondo si sviluppò per altri 15 milioni di anni, assai più a lungo che in Himalaya, per giungere allo sprofondamento durante il Permiano superiore (fig. 9), mentre al margine della zolla indiana questo avvenne al limite Permo-Trias, quindi 5-10 milioni di anni più tardi. In seguito il comportamento della microzolla del Karakorum e del Pamir meridionale è confrontabile con quello del margine della zolla indiana, sino al Giurassico medio, circa 150 milioni di anni prima dell'attuale. Questo prova che si trattava dei margini più o meno speculari dello stesso

oceano. Sulle ragioni che potrebbero aver causato questa precocità di eventi in Karakorum, penso si debba tener conto della posizione più centrale di quest'ultimo nella vecchia Tetide. Anche se i supercontinenti Gondwana e Laurasia erano saldati tra di loro nel Pangea, non mancarono mai tensioni e movimenti lungo la linea mediana. Le isole che stavano in mezzo venivano coinvolte in un contesto dinamico più vivace.

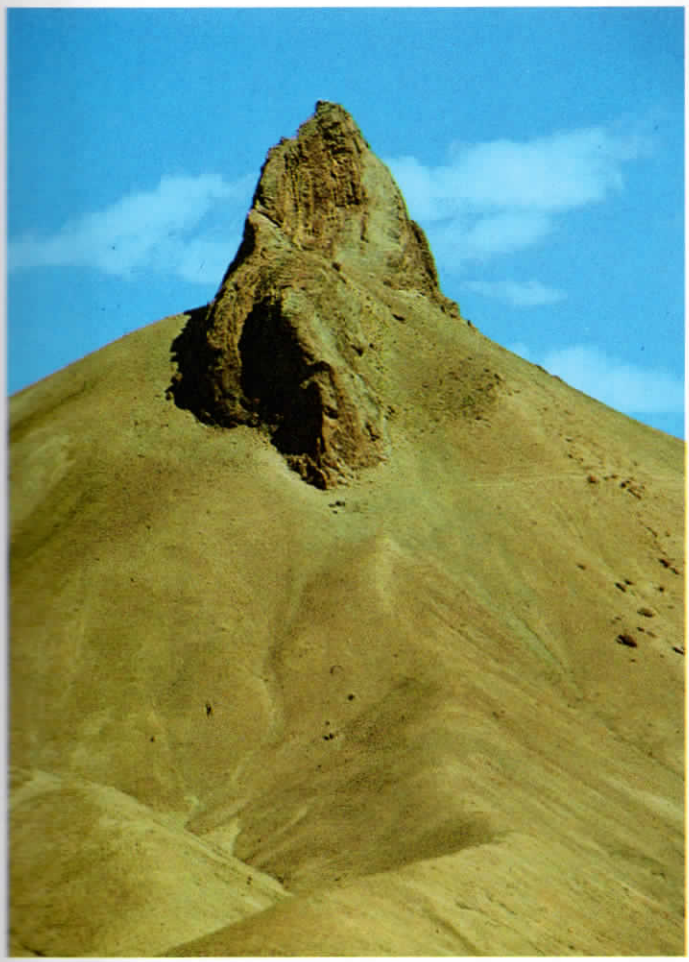

Fig. 8 - Sul pendio tra piattaforma continentale indiana e piana batiale dell'oceano Neotetide, potevano verificarsi durante il Giurassico colossali franamenti di rocce provenienti dalla piattaforma stessa. Questo blocco, che misura oltre 100 m di lato, affiora presso il Namika La, sulla strada tra Kargil e Leh, Ladakh.

Fig. 9 - La successione permo-triassica del Karakorum settentrionale è caratterizzata dalla presenza di grandi corpi di brecce carbonatiche, come quello formante il dosso arrotondato al centro della fotografia, che indicano la suddivisione in blocchi sismicamente attivi durante il Permiano e il Triassico sul margine neotetidiano settentrionale. Valle Chapursan, Karakorum settentrionale.

L'INIZIO DELLA CHIUSURA DELLA NEOTETIDE

Questa situazione relativamente bilanciata, in cui verso riva le oscillazioni del livello del mare possono portare a modificazioni sensibili, si conclude con l'inizio del Cretaceo. Il fatto nuovo è costituito dal distacco che inizia a manifestarsi tra la zolla indiana, il cui margine settentrionale costituirà poi in seguito l'Himalaya, e l'Australia. Si modificano i regimi di sprofondamento del margine meridionale della Neotetide, compare vulcanesimo, che noi ritroviamo solo sotto forma di detrito nei sedimenti (fig. 10). Ma soprattutto, la zolla indiana è meno vincolata al resto del Gondwana, e può iniziare, sia pur lentamente, a muoversi verso N. Se si muove verso N, l'oceano che si trova a N può venir bloccato nella sua espansione e quindi uno dei suoi margini o tutti e due cessano di avere un comportamento passivo. Cessa di formarsi nuova crosta in corrispondenza della dorsale mediana e l'oceano non si espande più.

Fig. 10 - Il distacco tra Australia ed India si riflette sulla sedimentazione del margine passivo indiano, in quanto consistenti apporti di arenarie derivanti dallo smantellamento di vulcani sono osservabili entro sedimenti del Cretaceo inferiore, dal Nepal sino allo Zanskar. In quest'ultima regione possono esser convenientemente studiati nell'alta valle dell'Oma Chu.

La chiusura in Himalaya

In questa nuova situazione, uno o tutti e due i margini vengono coinvolti attivamente nel moto dinamico del mantello terrestre. La crosta oceanica, più pesante, tende a sprofondare e a scorrere sotto la crosta continentale più leggera. Le osservazioni in Himalaya ci dicono che il margine meridionale della Neotetide rimane passivo, come tutta la successione sedimentaria del Cretaceo dimostra, mentre fu quello settentrionale a divenire attivo e la crosta oceanica prese a infilarsi sotto il blocco di Lhasa e sotto il Karakorum, allora all'inizio della sua edificazione. Scen-

dendo in profondità si riscalda sino a fondersi e il materiale più leggero risale, dando luogo a una cintura di fuoco vulcanica, mentre in profondità i magmi che raffreddano più lentamente si consolidarono in un insieme di batoliti granitici, che oggi formano una cintura lunga oltre duemila km a N della catena himalayana vera e propria, dalla regione di Gilgit in Pakistan, attraverso la catena del Ladakh in sponda sinistra dell'Indo sino al Transhimalaya di Sven Hedin, al Nienchentangla dei tibetani (fig. 11). Dapprima la subduzione lungo il margine settentrionale della Neotetide fu relativamente contenuta, ed anzi a N di questo arco vulcanico si aprivano dei piccoli mari marginali, come il Mar Giallo che attualmente si trova tra Giappone (l'arco vulcanico) e la Cina (il continente). Ma la velocità di deriva verso N si accrebbe grandemente, quando circa 84 milioni di anni or sono l'India si staccò anche dall'Africa e dal Madagascar, iniziando il «volo» verso N alla velocità di 150 km per milione di anni, una velocità elevatissima, da autentica Formula 1 tra i continenti. Alle sue spalle si andava formando l'Oceano Indiano. Sul margine passivo, in Zanskar, in Spiti, in Nepal, in Tibet meridionale, ancora nessuna reazione particolare, ma è sulle sponde settentrionali della Neotetide che bisogna andare a vedere. Noi lo abbiamo fatto in Karakorum.

Fig. 11 - Guardando dal monastero di Lamayuru in Ladakh verso N oltre la valle dell'Indo, è come se stessimo sul margine della zolla indiana e guardassimo il panorama sulla zolla asiatica. Gli strati verticali sono costituiti da ghiaie e sabbie depositate nella fossa esistente di fronte all'arco del Transhimalaya. Le radici dell'arco, oggi messe in evidenza dall'erosione, sono costituite da ammassi granitici e granodioritici, che appaiono più chiari in lontananza.

La chiusura vista dal Karakorum

Se a Sud si apre un oceano, la zolla continentale che si trova a settentrione tende a scivolare verso nord. Ma poiché non sembra proprio che sia cambiato nel tempo in modo sensibile il diametro del pianeta Terra, se da una parte si forma nuova crosta, altrettanta se ne deve consumare altrove. A N del Karakorum quindi si doveva consumare la vecchia crosta oceanica della Paleotetide. Quando però il margine settentrionale della grande isola Karakorum - Sud Pamir iniziò a collidere con il margine meridionale dell'Asia, si formarono nuove montagne, la cui erosione convogliò ampie conoidi di ghiaie e sabbie anche nei luoghi dove ora si trovano le alte valli del bacino dello Hunza, (fig. 12).

Ma erano detriti che venivano da lontano, non era ancora il margine continentale della Neotetide a venir coinvolto direttamente. Abbiamo tuttavia visto, che a S, sulla zolla indiana si registrano movimenti significativi a partire dal Cretaceo inferiore. In Karakorum a questi corrispondono le prime fasi deformative (fig. 13). I mari poco profondi che lo hanno caratterizzato sino all'inizio del Cretaceo o al massimo sino a metà Cretaceo, in ogni caso non più in là di circa 120-115 milioni di anni or sono, questi mari scompaiono. Le prime catene di montagne si formano e importanti conoidi di conglomerati e sabbie ricoprono vaste porzioni della regione, in clima caldo e con la formazione di suoli rossi, profondamente ossidati. L'oceano da questa parte è definitivamente scomparso e tutta la storia successiva

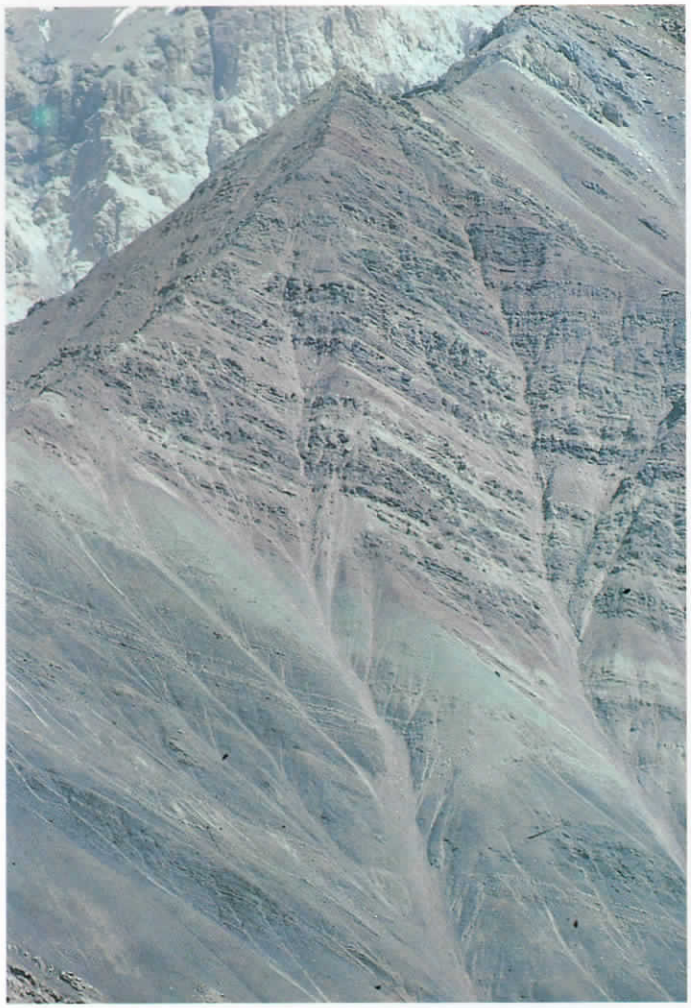

Fig. 12 - Nella successione marina del Karakorum si trovano interposte queste arenarie rosse deposte in ambiente continentale durante il Giurassico. Esse rappresentano la testimonianza di lontani sollevamenti, probabilmente ubicati verso il Kuen Lun e il N Pamir. Alta Valle di Chapursan, Alto Hunza, Karakorum settentrionale.

Fig. 13 - L'onda deformativa raggiunse il Karakorum durante il Cretaceo. Le rocce chiare nella parte bassa della fotografia sono calcari raddrizzati alla verticale, che risultano troncati e ricoperti stratigraficamente dai conglomerati rossi suborizzontali di età probabilmente Cretacea superiore. Queste rocce, con i rapporti geometrici ben conservati, vennero poi a loro volta incluse nel più vasto movimento di raccorciamento dovuto alla collisione tra India e Asia, che diede origine al Karakorum e all'Himalaya. Alta Valle Hunza, Karakorum settentrionale.

è la storia della continua, possente collisione dei comparti più meridionali contro quelli settentrionali, l'impilamento di falde di rocce sedimentarie in grandi lembi di ricoprimento, la trasformazione in profondità di altri sedimenti a formare rocce metamorfiche, la fusione in profondità di rocce oceaniche e continentali a dare gli enormi batoliti che, risalendo perché più leggeri diedero origine al grande granito assiale del Karakorum. Quello delle Cattedrali del Baltoro e delle Torri di Trango, per intenderci.

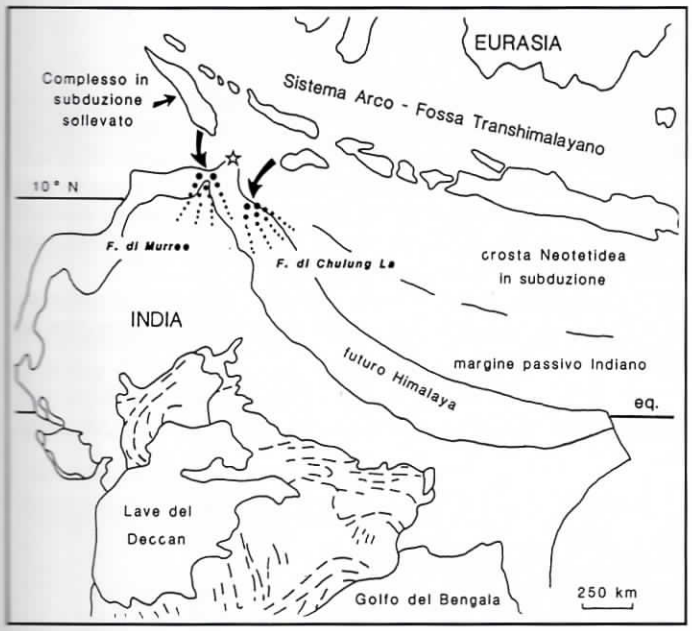

Fig. 14 - Schema paleogeografico illustrante la situazione a 59 milioni di anni prima dell'attuale. Il continente indiano ha raggiunto con il suo vertice nordoccidentale la zolla asiatica, dopo che tutto l'Oceano Neotetide interposto si era consumato andando in subduzione sotto il sistema arco-fossa del Transhimalaya, a N del quale si era impostata anche la catena del Karakorum. Dalla zona del Kohistan giungono conoidi alluvionali che, per la prima volta dalla sua individuazione, raggiungono il margine continentale indiano. (Da Garzanti et al., 1987).

LA CHIUSURA FINALE

Il grande volo dell'India ha effetti letali per la Neotetide. Larga sino a 3000 km, si va riducendo rapidamente, per cui a circa 59 milioni di anni avviene la prima collisione continente/continente in corrispondenza dell'apice NO della zolla indiana (fig. 14). Dai primi rilievi provengono conoidi torrentizie che si espandono sul margine passivo dello Zanskar (fig. 15). Nei cinque milioni di anni successivi anche il solco residuo tra arco vulcanico del Ladakh e continente indiano si colma, dando luogo ai potenti depositi conglomeratici della valle dell'Indo. Quelli che si incontrano ad esempio salendo al monastero di Hemis (fig. 16). La Neotetide cessa di esistere, non solo tra Karakorum e Himalaya, ma anche verso occidente, tra Africa e Eurasia. Dalle sue spoglie e da quelle dei suoi margini continentali, la collisione in progresso negli ultimi 50 milioni di anni ha fatto sorgere tutti i sistemi alpidici, dalle Alpi vere e proprie sino alle catene della Tailandia. La storia di questa collisione in Himalaya e Karakorum è assai articolata e complessa. Ma è un'altra storia.

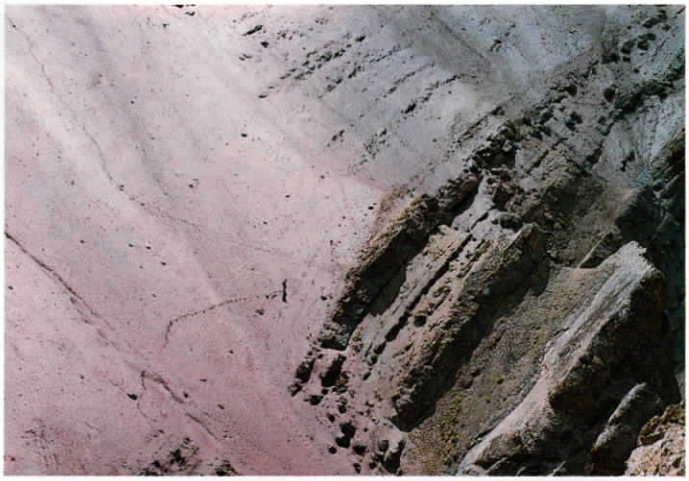

Fig. 15 - Dopo 190 milioni di anni, sul margine continentale indiano cessa definitivamente la sedimentazione marina. L'oceano antistante si è chiuso e i fiumi provenienti dall'arco del Kohistan depositano sabbie con composizione delle rocce oggi osservabili ad occidente del Nanga Parbat. Alta valle dell'Oma Chu, Zanskar occidentale, Himalaya.

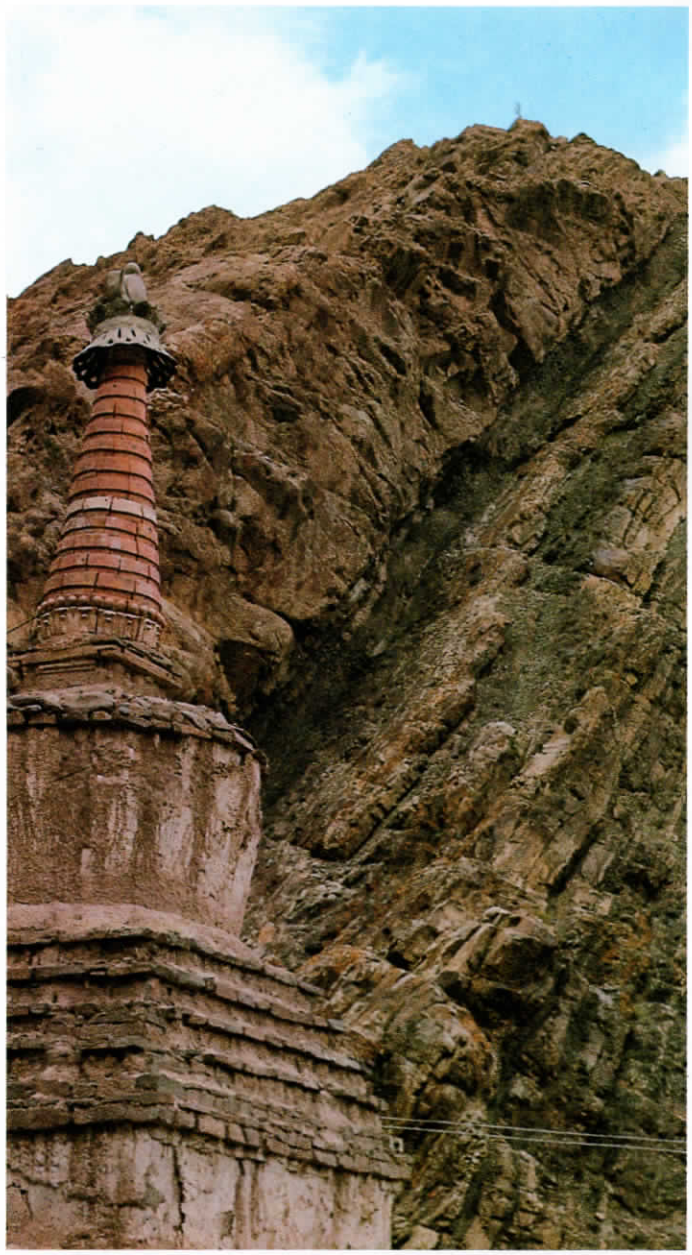

Fig. 16 - Lo smantellamento del Transhimalaya accumulò nella fossa antistante abbondanti depositi fluviali e torrentizi. Alcuni begli esempi si possono osservare salendo al monastero di Hemis, in Ladakh, in prossimità del fiume Indo.