

Riv. Mus. Sc. Nat. BG; vol. 9° (1985)

ANDREA ZANCHI (1)

Analisi e discussione critica della letteratura geologica inerente l'evoluzione post-orogénica della penisola della Bassa California (Messico), aggiornata al 1984.

Riassunto: Il presente lavoro ha lo scopo di riassumere e riunire in un unico testo la bibliografia geologica riguardante l'evoluzione della penisola della Bassa California a partire dal Cretacico superiore. L'analisi è stata suddivisa in sei capitoli, in ognuno dei quali vengono esaminati e discussi dati stratigrafici, strutturali, petrografici e geofisici inerenti i periodi qui presi in esame. Sono stati particolarmente approfonditi i problemi concernenti l'apertura del Golfo di California, avvenuta in più fasi a partire dal Miocene medio-superiore, e gli eventi che hanno preceduto la formazione di quest'ultimo.

Parole chiave: Geologia, Bassa California, Messico, analisi bibliografica, evoluzione geodinamica, Cretacico superiore-Olocene.

Abstract: The aim of this paper is to resume and collect in a single work the bibliographical data concerning the geological evolution of Baja California peninsula since Late Cretaceous. The analysis is organized in 6 chapters, each one dealing with stratigraphical, structural, petrographical and geophysical data concerning the periods here examined. A particular effort was given to discuss the relationships between the opening of the Gulf of California, occurring since Middle-Late Miocene and the geological events preceding its formation.

Key words: Geology, Baja California peninsula, Mexico, bibliographical analysis, geodynamical evolution, Upper Cretaceous-Olocene.

(1) Studente di Dottorato presso il Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Milano

Résumé: L'objectif de cet essai est de proposer dans un seul text la bibliographie géologique et l'évolution de la presque'île de la Baja California, à partir du Crétacé supérieur. L'étud a été subdivisé dans 6 chapitres et dans chacun on examine et on discute les reinsegnements stratigraphiques concernant les périodes considérés. Les problèmes concernant le percement du Golfe de California, qui a eu lieu dans plusieurs phase à partir du Miocene supérieur ont été approfondis et de même façon les événements qui ont précédé la formation de ce cernier.

Mots clés: Géologie, Baja California, Mexique, analis bibliographique, evolution géodynamique, Crétacé supérieur-Olocene.

Zusammenfassung: Die anwesende Forschung hat das Ziel in einen emzigen Text die geologische Bibliographie zu versammeln, die, die Evolution der Halbinsel der Baja California von obere Kreidezeit, betrifft. Die Analyse wurde in 6 Kapiteln unterteilt. Im jedem Kapitel werden stratigraphische, strukturelle, petrographische, und geophysische Daten studiert, in bezung auf die angeschen Perioden. Hauptstchlich wurden die Problemen an Öffnung des California Golfs verbunden, die in mehreren Phasen sich zeigten und auch die vorange gangenen Entwicklungen der Formation dieses letzten, untersucht.

Schlusselwörter : Géologie, Baja California Halbinsel, Mexiko, bibliographische analyse, obere Kreidezeit-Olozene.

INDICE

P.1	INTRODUZIONE GENERALE	
P.2	1 CRETACICO SUPERIORE	
P.2	1.1	<u>Introduzione</u>
P.3	1.2	<u>Stratigrafia</u>
	Settore N	
	1.2.1	Area di Tijuana
	1.2.2	Area di Ensenada
	Settore centrale	
	1.2.3	Area di El Rosario
	1.2.4	Penisola di Vizcaino
	Settore S	
	1.2.5	Bassa California meridionale
P.6	1.3	<u>Linea di Santillian e Barrera</u>
P.7	1.4	<u>Dati geofisici: Paleomagnetismo</u>
P.8	2 PALEOCENE-EOCENE	
P.8	2.1	<u>Introduzione</u>
P.9	2.2	<u>Stratigrafia</u>
	Settore N	
	2.2.1	Area di Tijuana
	2.2.2	Area di Ensenada
	Settore centrale	
	2.2.3	Area di El Rosario
	2.2.4	Area di Baja Santa Rosalia
	2.2.5	Penisola di Vizcaino
	Settore S	
	2.2.6	Bassa California Meridionale
P.13	2.3	<u>Vulcanismo</u>
P.14	3 OLIGOCENE	
P.14	3.1	<u>Introduzione</u>
P.15	3.2	<u>Stratigrafia</u>
	3.2.1	Isola di Tiburon e Costa dello Stato di Sonora
	3.2.2	Bassa California meridionale
	3.2.3	Nayarit Nord-occidentale
	3.2.4	Nayarit occidentale e Jalisco Nord-occidentale
	3.2.5	Area tra Mazatlan e Durango
	3.2.6	Chihuahua
P.23	4 MIOCENE	
P.23	4.1	<u>Introduzione</u>
P.24	4.2	<u>Stratigrafia</u>
	Costa Pacifica	
	4.2.1	Area di Tijuana
	4.2.2	Penisola di Vizcaino
	Regione del Golfo Settore N	
	4.2.3	Imperial Valley
	4.2.4	Jacumba
	4.2.5	Sierra Juarez, Tinaja e Pinta
	4.2.6	Area di San Felipe
	4.2.7	Isola di Tiburon e costa dello Stato di Sonora
	4.2.8	Area El Marmol-Isia Encantada
	4.2.9	Area San Borjas-Las Animas
	Regione del Golfo Settore S	
	4.2.10	Bassa California meridionale
	4.2.11	Nayarit occidentale e Jalisco Nord-occidentale
P.37	4.3	<u>La formazione del "protogolfo" di California</u>

p.40	4.4	<u>Depositi del Miocene medio superiore connessi alla formazione del "Protogolfo"</u>
	4.4.1	Area di San Felipe
	4.4.2	Area di Santa Rosalia
	4.4.3	Isola di Tiburon
	4.4.4	Area di Loreto
	4.4.5	Fossa di San José del Cabo
	4.4.6	Margine continentale della punta della penisola
p.44	4.5	<u>Chimismo del vulcanismo neogenico ed evoluzione geodinamica</u>
p.50	5	<u>PLIOCENE</u>
p.50	5.1	<u>Introduzione</u>
p.51	5.2	<u>Stratigrafia</u>
	5.2.1	Costa pacifica
		Settore N della costa del Golfo
	5.2.2	Area di San Felipe
	5.2.3	Area El Marmol-Isia Encantada
	5.2.4	Isola di Tiburon e Costa dello Stato di Sonora
		Settore S della costa del Golfo
	5.2.5	Sierra Reforma
	5.2.6	Area di Santa Rosalia
	5.2.7	Vulcanismo alcalino della parte meridionale della penisola
	5.2.8	Fossa di San José del Cabo
	5.2.9	Margine continentale della punta della penisola
	5.2.10	Bocca del Golfo
	5.2.11	Nayarit occidentale e Jalisco Nord-occidentale
p.55	5.3	<u>Tettonica</u>
p.57	6	<u>PLEISTOCENE E OLOCENE</u>
p.57	6.1	<u>Introduzione</u>
p.58	6.2	<u>Continental Borderland</u>
p.62	6.3	<u>Costa Pacifica</u>
p.64	6.4	<u>Depositi sedimentari dell'interno della penisola</u>
p.64	6.5	<u>Vulcanismo della penisola</u>
	6.5.1	Settore S
	6.5.2	Tres Virgenes
	6.5.3	Sierra Reforma
	6.5.4	Settore S
p.66	6.6	<u>Costa del Golfo</u>
	6.6.1	Area settentrionale
	6.6.2	Area della Reforma
	6.6.3	Area di Santa Rosalia
	6.6.4	Area tra Santa Rosalia e Baia Concepcion
	6.6.5	Costa centrale dello Stato di Sonora
	6.6.6	Regione del Capo
	6.6.7	Fossa di San José del Cabo
p.70	6.7	<u>Dati oceanografici sulla struttura del Golfo di California</u>
	6.7.1	Settore N
	6.7.2	Settore centrale
	6.7.3	Settore S
p.80	6.8	<u>Tettonica</u>
p.82		<u>Bibliografia</u>

INTRODUZIONE GENERALE

In questo lavoro viene presentata un'analisi della bibliografia inerente l'evoluzione post-orogénica della penisola della Bassa California.

Nonostante non sia stato per ora possibile reperire tutto il materiale esistente su questa regione, quanto esposto in seguito rappresenta in modo sufficientemente completo le conoscenze (1984) finora acquisite.

Viene analizzata anche l'evoluzione della Sierra Madre Occidentale e del settore costiero del Messico occidentale, la storia dei quali è intimamente legata a quella della penisola.

Il testo è stato suddiviso in 6 capitoli, ad ognuno dei quali corrispondono periodi significativi dell'evoluzione del territorio studiato.

I vari sottocapitoli sono stati ordinati per settori geografici, da N verso S e da W verso E.

Gli schemi stratigrafici (Gastil 1975), riportati all'inizio dei capitoli sulla stratigrafia, servono unicamente come quadro introduttivo generale. I dati più aggiornati, riportati nel testo, molto spesso non concordano con le suddivisioni proposte da questo autore.

La mancanza di omogeneità, che si riscontra a volte nella trattazione dei singoli argomenti, è dovuta alla carenza di informazioni esistente in letteratura.

E' stata mia intenzione privilegiare l'esposizione dei dati veri e propri rispetto a quella delle interpretazioni fornite dagli autori, in modo che il lettore possa avere una visione più oggettiva dei fatti.

Ho inoltre cercato di aprire la discussione sui problemi emersi, senza fornire o accettare soluzioni definitive.

Per quanto riguarda le numerose datazioni assolute (K-Ar) riportate nel testo, ricordo che alcune sono state eseguite parecchi anni fa e in differenti laboratori. Per questi motivi ritengo che sia più prudente considerarle come indicazioni di massima, piuttosto che attribuire loro un valore definitivo.

La bibliografia citata è interamente disponibile presso la sezione di Geologia e Paleontologia del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano.

1) CRETACICO SUPERIORE

1.1 INTRODUZIONE

Dal Cretacico superiore all'Eocene si definisce una tipica attività post-orogénica. Successivamente alla messa in posto dei batoliti granitici, completata attorno ai 90 my, le catene peninsulari della Bassa California subiscono sollevamento, raffreddamento ed erosione.

In questo periodo la penisola appartiene al continente Nord-Americano, ed è collegata a questo attraverso i settori occupati in seguito dal Golfo di California. Un enorme volume di detrito viene trasportato verso W fino all'Oceano Pacifico, e si depone nei pressi dell'attuale linea di costa. La distribuzione areale di questi sedimenti testimonia che la Bassa California era già limitata a occidente da una costa allungata in direzione NW, corrispondente grosso modo a quella attuale. (Fig.1)

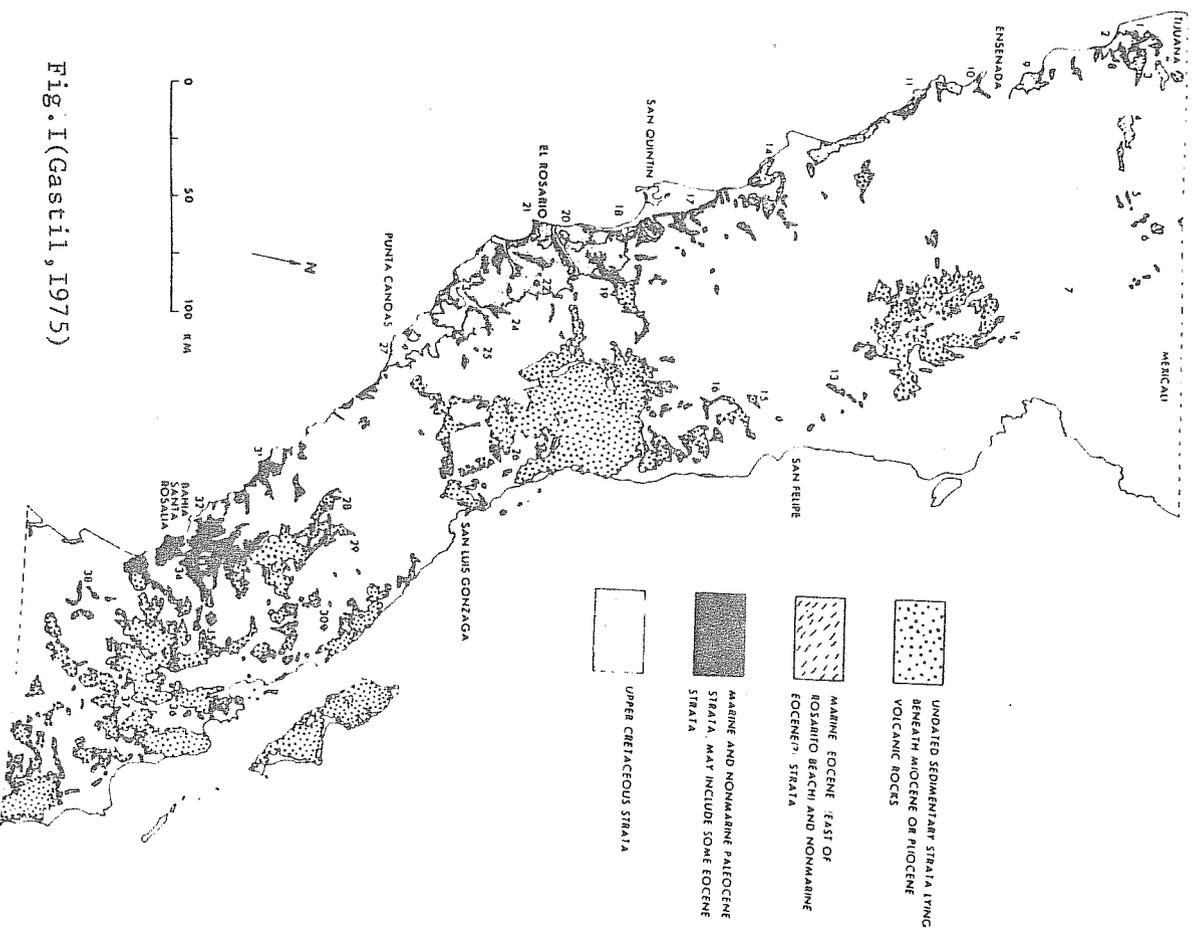


Fig.1(Gastil, 1975)

Distribution of Upper Cretaceous and lower Tertiary rocks. Numbers 1 through 39 correspond to localities cited in the text.

Si ritiene che questa si sia imposta in corrispondenza di un importante linea-mento strutturale, la linea di Santillan e Barrera, attiva dal Cretacico Superiore in poi. (fig.7)

A W di questa si formano bacini fortemente subsidenti in cui si sono accumulati anche 10 Km di torbiditi.

In altri settori i depositi sono meno potenti, e sono di ambiente litorale.

1.2 STRATIGRAFIA

POSTBATHOLITH CRETACEOUS		AGE LIMIT VARIES LOCALLY WITH THE AGE OF THE BATHOLITH	
MAESTRICHTIAN	WILLIAMS FM. 1	ROSARIO GROUP 3	ROSARIO FM. 6
	LAOZ FM. 1		
CAMPANIAN		POINT LOBOS FM. 2	
SANTONIAN			
CONIACIAN			
TURONIAN	TRABUCO FM. 1	LUSARDI FM. (UNDATED) 3 & 5	REDONDA FM. (UNDATED) 8
CEANOMANIAN			
ALBIAN			
	SANTA ANA MOUNTAINS, ORANGE COUNTY, CALIFORNIA, U.S.A.	SAN DIEGO COUNTY, CALIFORNIA, U.S.A.	TIJUANA AREA, MEXICO
			SOUTHERN PART OF THE STATE OF BAJA CALIFORNIA, MEXICO
			VALLE SANTIAGO FM. 11, 12
			EUGENIA FM. 11, 12
			TERRITORY OF BAJA CALIFORNIA, MEXICO

Correlation of postbatholithic Cretaceous, Paleocene, and Eocene formations. Numbers opposite formation names indicate the following sources: 1, Morton (1972); 2, Yerkes (1957); 3, M. A. Hanna (1926); 4, Kennedy and Moore (1971); 5, Nordstrom (1970); 6, Flynn (1970); 7, Santillan and Barrera (1930); 8, Heim (1922); 9, Kilmer (1963); 10, Mina (1957); 11, Popenoe and others (1960); 12, G. Gastil, J. Minch, and others (unpub. data).

Fig.2(Gastil, 1975)

Settore M

1.2.1 Area di Tijuana (Flynn 1970)

-Redonda Formation Discordanti sul basamento sono presenti breccie e conglomerati non fossiliferi. I clasti hanno dimensioni medie di 15 cm con massi fino a 3m di diametro. Lo spessore massimo è di 120 m. E' separata dalla soprastante Rosario Formation da una discordanza erosionale molto forte e da discordanza angolare.

-Rosario Formation E' formata da sedimenti di ambiente marino separati in 2 membri:

- membro inferiore arenaceo dello spessore massimo di 75m;
- membro superiore principalmente argillitico, con intercalazioni arenacee, dello spessore di 45m.

Il bivalve Coralliochama orcutti White è considerato il fossile guida della formazione. Il contenuto faunistico (fossili e microfossili) indica Campaniano superiore e/o Maastrichtiano inferiore.

Le sabbie sono di ambiente deltizio, mentre i fanghi sono di ambiente pelagico, ma prossimo alla costa.

A tetto è presente un paleosuolo (vedi 2.2.1) molto alterato, dello spessore di 6-12 m, da bianco a rosso porpora, che separa l'unità dalle formazioni eoceniche. (fig.3)

1.2.2 Area di Ensenada (Ledesma-Vasquez 1984)

-Rosario Formation Contrariamente a precedenti interpretazioni di questa formazione in altre parti della penisola, studi dettagliati compiuti nei pressi di Ensenada mostrano evidenze di rideposizione in acque perlomeno moderatamente profonde. I depositi studiati rappresentano probabilmente la parte superiore di un conoide torbiditico: sono infatti presenti lenti conglomeratiche canalizzate, strutture di slump e arenarie massive deposte da grain flow.

Viene inoltre ribadita da questo autore la variabilità laterale della Rosario Formation. (fig.4)

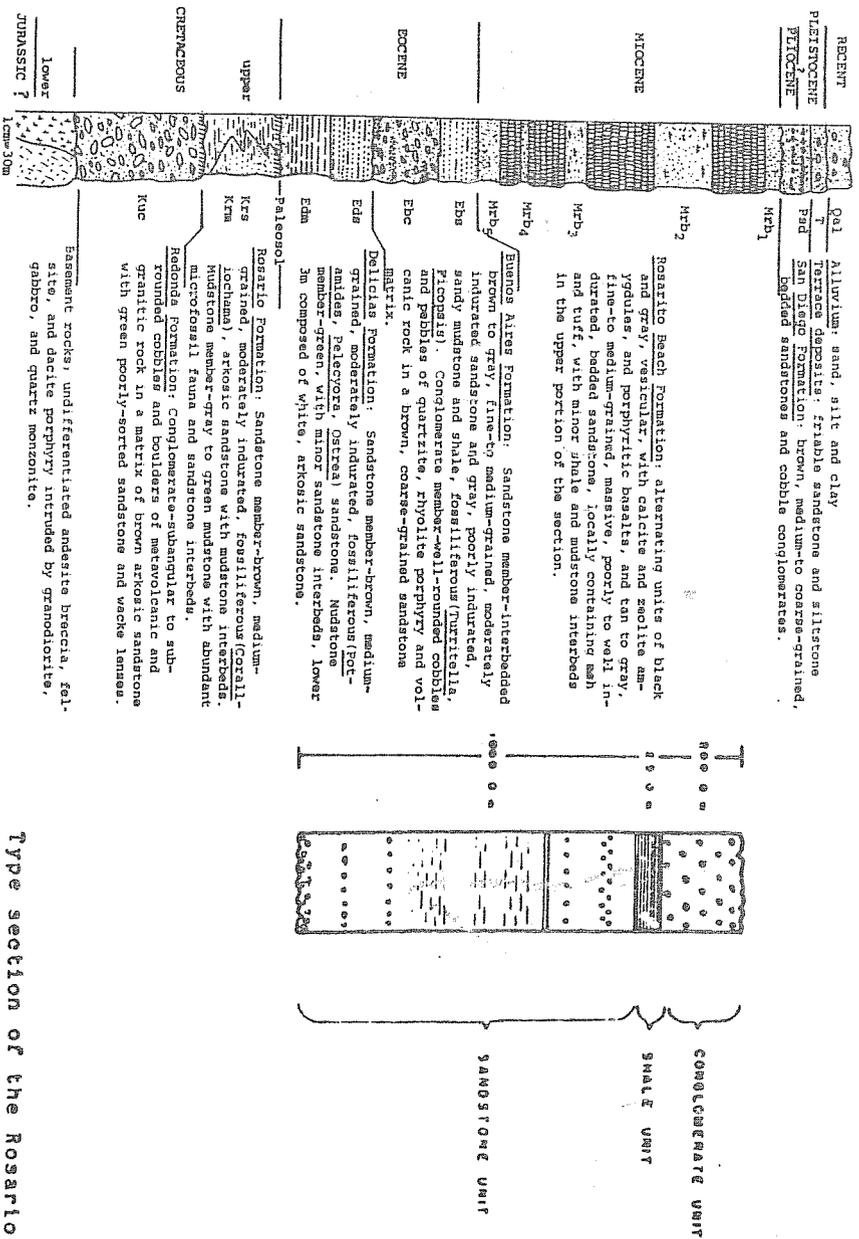


Fig.3 (Flynn, 1970)

Type section of the Rosario Formation.

Fig.4 (Ledesma-Vazquez, 1984)

Settore centrale

1.2.3 Area di El Rosario (Gastil 1975)

Dal basso verso l'alto:

-La Bocana Roja Formation Sono conglomerati fluviali con blocchi granitici e metavulcanici di diametro fino a 3m.
 E' presente un membro inferiore rosso costituito prevalentemente da depositi derivati da metavulcaniti.

Il membro superiore è bianco, ed è costituito da materiali granitici. Questa formazione appoggia in discordanza sul basamento.

-Punta Baja Formation Contiene rocce alternativamente marine e non marine. L'ambiente marino è subittorale (50-200m).

-El Collo Formation E' costituita da argille bruno-nera con lignite e ossa di Adrosauri, siltiti con arenarie arcose a stratificazione incrociata e lenti conglomeratiche.

L'ambiente di deposizione è litorale: di laguna e spiaggia. I conglomerati sono fluviali.

-Rosario Formation Non viene qui ben definita dall'autore. La sezione analizzata in questo settore include depositi da continentali a batiali profondi. Nella parte alta compaiono blocchi di 30m di diametro costituiti da arenarie e argille cretacicche in una matrice caotica. Vengono interpretati come frammenti sotto-marini.

1.2.4 Penisola di Vizcaino (Patterson 1984, 3 lavori, Helenes 1984, Barnes 1984)

Il termine Valle Formation designava la sequenza di torbiditi dello spessore di 10.000 m di età cretacicca "medio"-superiore che affiora lungo la penisola di Vizcaino. Patterson (1984) distingue per la prima volta 2 formazioni: Los Chapunes e Valle. La suddivisione è stata effettuata in base alla diversità delle aree d'alimentazione delle 2 unità.

Il lavoro a carattere stratigrafico (Patterson 1984) non è stato pubblicato.

-Los Chapunes Formation Sono arenarie, argilliti e conglomerati torpiditici dell'Albiano presenti alla base della vecchia Valle F. Rappresentano i prodotti degli stadi finali della dissezione dell'Arco di San Andres-Cedros, che limitava il bacino di Vizcaino a W. Corrisponde probabilmente al membro inferiore della Valle F. di Barnes (1984), per il quale questo autore indica uno spessore di 3500m e un'età Albiano-Cenomaniano? . (fig.6)

-Asuncion Formation Nella Baia di Asuncion è presente una formazione costituita da 800-900m di rocce grossolane clastiche terrigene, vulcanoclastiche, calcarenacee e tufacceee. Sono presenti a letto dei calcari con Orbitolinidae. L'età è Albiano-Cenomaniano. A tetto la formazione passa gradualmente e in concordanza alle arenarie della Valle.F. (Barnes 1984). La Asuncion F. rappresenta una facies clastica più prossimale rispetto alla soprastante Valle F. Barnes la include nel Vizcaino Group, connesso ad attività vulcano-plutonica di arco del

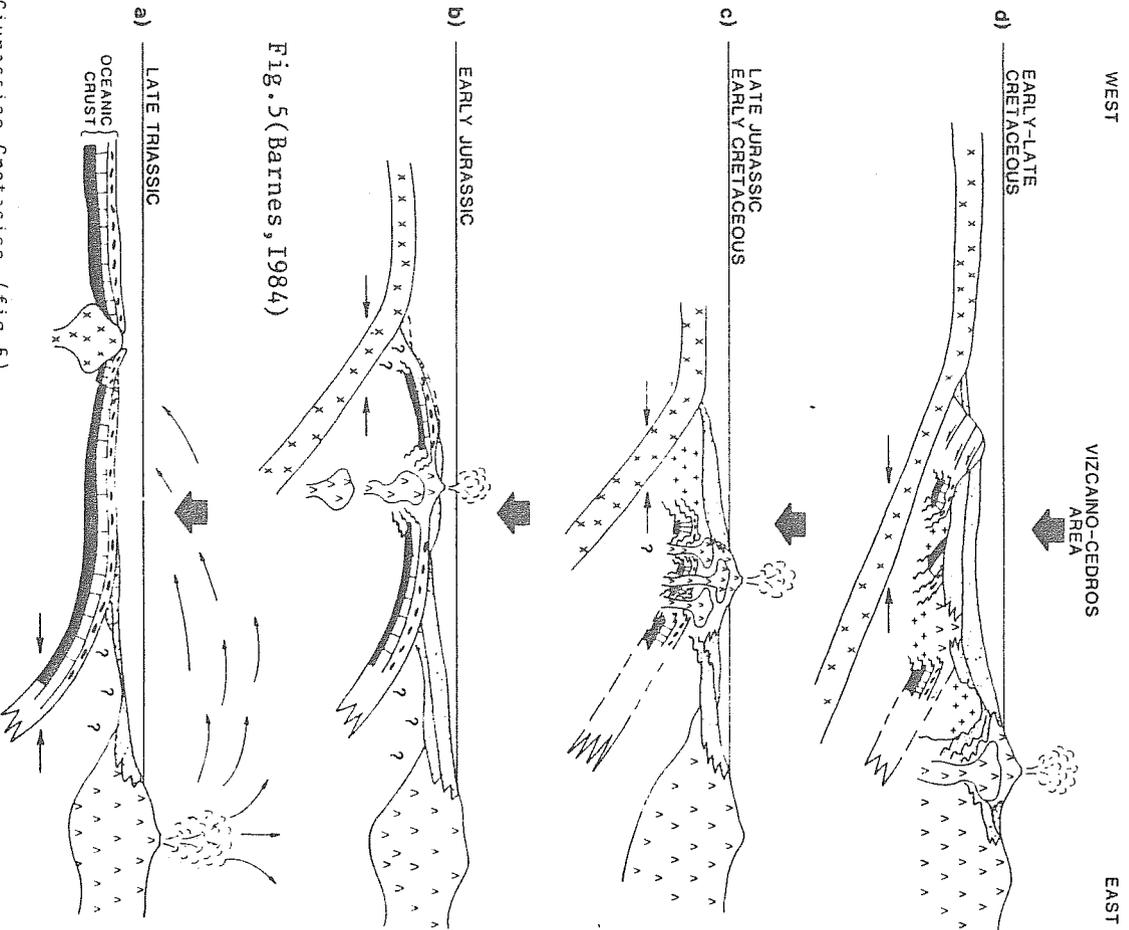


Fig.5 (Barnes, 1984)

Giurassico-Cretacico. (fig.5)

-Valle Formation Sono arenarie, argilliti e conglomerati molto simili alla Los Chapunes F. Secondo gli studi sedimentologici di Patterson (1984), la Valle F. rappresenta lo smantellamento dell'arco vulcanico di Allisitos, posto 100km a E del bacino di Vizcaino e separato dalla fossa di deposizione da una piattaforma continentale larga almeno 85km.

Questo autore data la F. Cenomaniano-Santoniano. Helenes (1984) fornisce un'età Cenomaniano-Maastriichtiano, in base ai Foraminiferi e alle Dinoflagellate. Indica pure la concordanza tra questa e la sottostante Alisitos F. il cui tetto è dell'Albiano, e tra questa la soprastante Bateque, il cui letto è del Daniano.

Anche Barnes (1984) ritiene che si tratti di una sequenza torbiditica depositasi in ambiente epi-batiale in un bacino di fore-arc posto a W dell'arco di Alisitos. (fig.5 e 6)

Nonostante in alcuni punti sia concordante con le sottostanti formazioni, secondoquesto autore la Valle F. rappresenta un forte cambio nelle caratteristiche della sedimentazione cretacea.

Settore S

1.2.5 Bassa California meridionale

Beal (1948) suggerisce la possibilità che nella regione del Capo la parte inferiore della Tepetate F. sia cretacea. In molte località sono infatti presenti, a letto della formazione, 500m di conglomerati discordanti sui sottostanti depositi.

Secondo lo stesso autore è possibile che in questa regione i sedimenti del Cretacico superiore siano ben diffusi al di sotto di quelli paleogenici.

Fulwider (1984) indica in 2 sezioni della Tepetate Formation (Arroyo Salada e Arroyo Colorado, precedentemente ritenuta interamente terziaria, un'età del Cretacico superiore, ricavata dall'analisi del Nannoplancton. L'ambiente di deposizione è la parte medio alta della scarpata con condizioni leggermente anossiche. La litologia e le strutture sedimentarie indicano sedimentazione in un complesso di conoide sottomarina.

Esiste un precedente lavoro (Fulwider 1976) non pubblicato.

1.3 LINEA DI SANTILLAN E BARRERA (Gastil 1975)

La deposizione della Rosario F. e delle altre formazioni cretacicche è stata influenzata da un assetto strutturale tuttora esistente. Il limite orientale della trasgressione del Cretacico superiore è segnato da una linea tettonica, la linea di Santillan e Barrera, avente direzione NW-SE, prossima all'attuale linea di costa, che può essere seguita dalla piana di Magdalena fino alla California meridionale. (fig.7)

A E di questa non si conoscono depositi marini di questa età. Lungo tale allineamento non si può dimostrare la presenza di faglie, ma la rettilineità della costa e la presenza di scogliere dal Cretacico a oggi indica l'esistenza di una linea di faglia molto importante. La linea di Santillan e Barrera delimita il margine E della fossa chiamata da Beal (1924) "Sinclinale della Bassa California". Questa linea s'è comportata come una cerniera tra la penisola emergente e il continental borderland a tendenza negativa.

La sinclinale della Bassa California era impostata tra questo lineamento e le dorsali emergenti dal continental borderland.

Il valore della subsidenza era forte lungo tutta la costa.

Mina (1957) riporta uno spessore di 6000m in un pozzo della piana di Magdalena, Bassa California meridionale. Nella penisola di Vizcaino i valori si aggirano sui 10.000m (AAVV). Presso El Rosario Kimer (1963) indica 3000m.

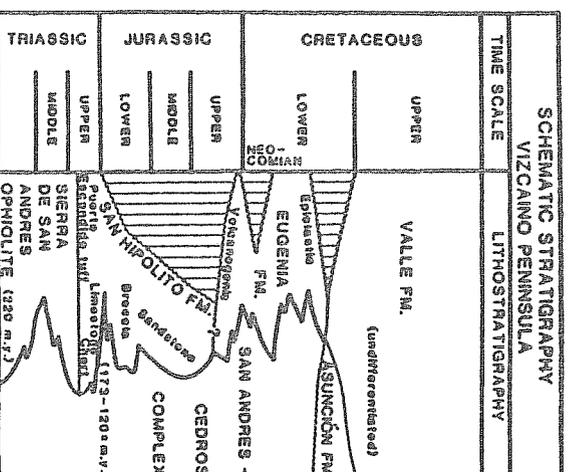


Fig.6(Barnes, 1984)

Ricordo che queste forti differenze di spessore in senso N-S non sono ancora state spiegate.

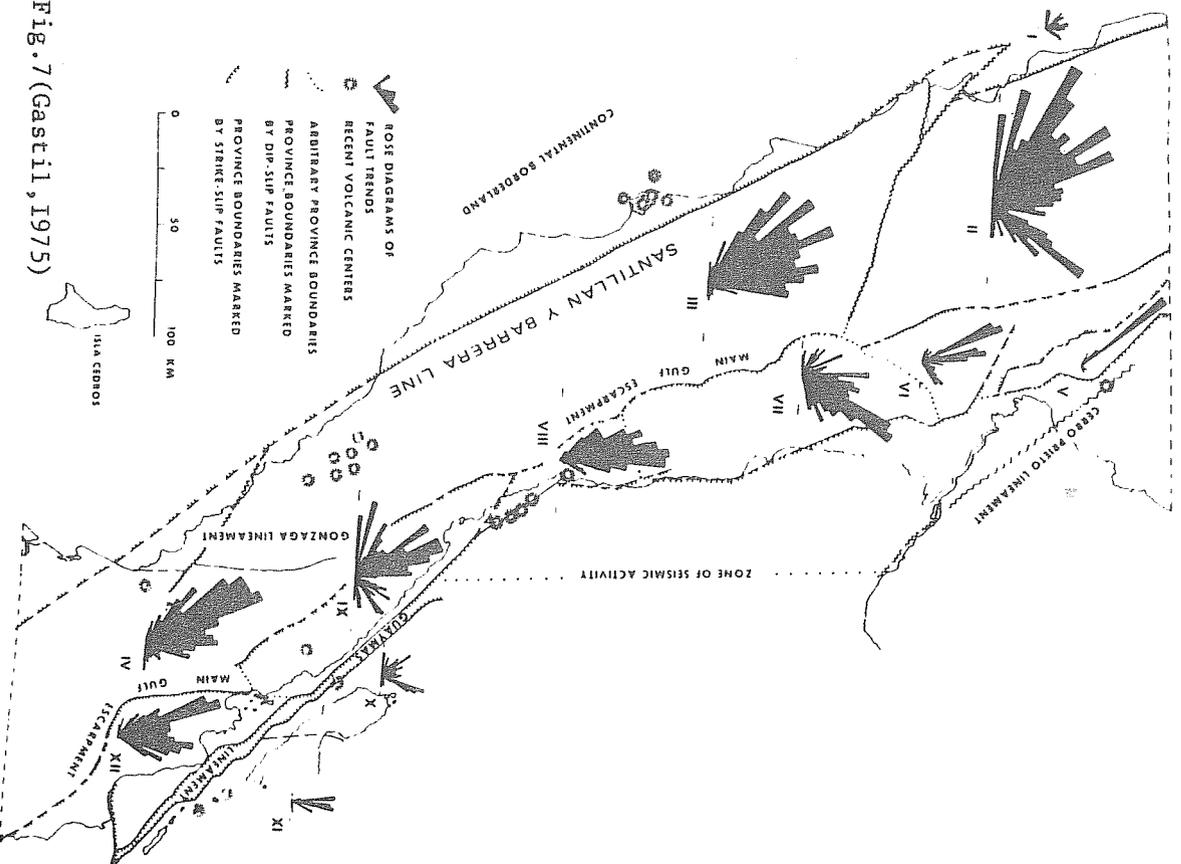


Fig. 7 (Gastil, 1975)

Figure 55. Structural provinces of the state of Baja California. Roman numerals correspond to provinces as follows: I, continental borderland; II, northern stable peninsula; III, central stable peninsula; IV, San Borja-Santa Gertrudis; V, Sierra de los Cucapas; VI, northern Sierra Pinta; VII, southern Sierra Pinta, Sierra San Felipe, and Sierra Santa Rosa; VIII, Puertictos; IX, Gonaaga-Remedios coastal ranges and basins; X, Isla Angel de la Guarda; XI, Isla San Lorenzo; XII, Los Angeles-Las Animas.

1.4 DATI GEOFISICI - Paleomagnetismo

Patterson (1984) ha raccolto, nella penisola di Vizcaino, alcuni dati paleomagnetici nella Valle F. La coincidenza dei poli virtuali della Valle F., Della Alisitos F. e del Batolite delle catene peninsulari dimostra, secondo l'autore, l'assenza di grosse dislocazioni differenziali avvenute tra queste unità dopo il Cretacico.

Le direzioni del C.M.T indicano che il blocco della Bassa California è stato ruotato in senso orario di 28° e spostato verso N, rispetto al cratone Nord-Americano, di 15°.

Rispetto all'attuale posizione, invece, la Bassa California era 5° più a S. Le lineeazioni magnetiche del Golfo di California indicano che 2° possono essere spiegati dalla migrazione verso N avvenuta a partire dal Pliocene, dopo la separazione dal Messico. Tre gradi vengono attribuiti a una migrazione verso N della penisola dal Cretacico sup. al Miocene sup. rispetto al Nord-America.

I restanti 10° possono derivare dal movimento verso S del Nord-America occidentale, dal Cretacico superiore all'Oligocene.

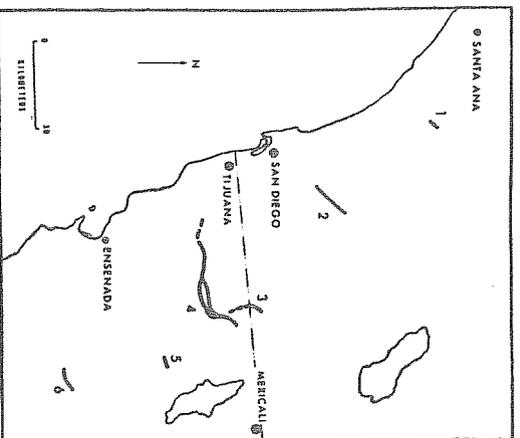
2) PALEOCENE-EOCENE

2.1 INTRODUZIONE

Durante il Paleocene e l'Eocene prosegue l'attività post-orogena iniziata nel Cretacico superiore.

Nell'Eocene i rilievi mesozoici della catena peninsulare sono ormai ridotti a colline isolate, separate da superfici semipianeggianti prossime al livello del mare, ricoperte da depositi alluvionali e attraversate da fiumi provenienti dallo Stato di Sonora e dall'Arizona. (fig.8)

Alcune di queste superfici d'erosione, denominate "Old Erosion Surfaces", sono conservate all'interno della penisola, dove formano i "plateau centrali", posti



Location of channels of early Tertiary streams that flowed southwestward in the northern Peninsular Ranges: 1, Santa Rosa River; 2, Bahenas River; 3, Jacumba River; 4, Rio de las Palmas; 5, Rio Nacional; 6, Rio del Rodeo (from Minch, 1970).

Fig.8(Gastil, 1975)

attualmente fino a 2000 m di quota. Sono state riconosciute dalla Contea di River Side (Usa) fino a La Paz (fig.9). In alcune località è ancora presente qualche lembo isolato della originaria copertura alluvionale.

La sedimentazione marina verificatasi lungo la costa occidentale è probabilmente controllata dalla linea di Santillan e Barrera come nel Cretacico superiore, anche se presso Mesa San Carlos (El Rosario) i depositi del Paleocene - Eocene oltrepassano verso E di 20Km il limite dei sedimenti marini del Cretacico superiore. (fig.1)

In questo periodo la subsidenza a W della linea di S. e B. è meno accentuata che nel Cretacico superiore, anche se rimane notevole in alcuni settori.

I depositi sono generalmente di delta o litorali, e passano a E a sedimenti d'acque dolci, salmastre e fluviali.

Le rocce sedimentarie marine del Paleocene e dell'Eocene inf. affiorano lungo tutta la costa occidentale, mentre quelle dell'Eocene medio-superiore sono presenti solo a NW, dove appoggiano sulla Rosario F. o direttamente sul basemento corrugato.

Vi è una certa confusione attorno alla nomenclatura delle formazioni depostesi in questo periodo.

Beal (1948) include tutti i sedimenti di questa età nella Tapatate F. Attualmente questo termine indica i depositi presenti nella parte meridionale della penisola, mentre più a N sono state istituite altre formazioni.

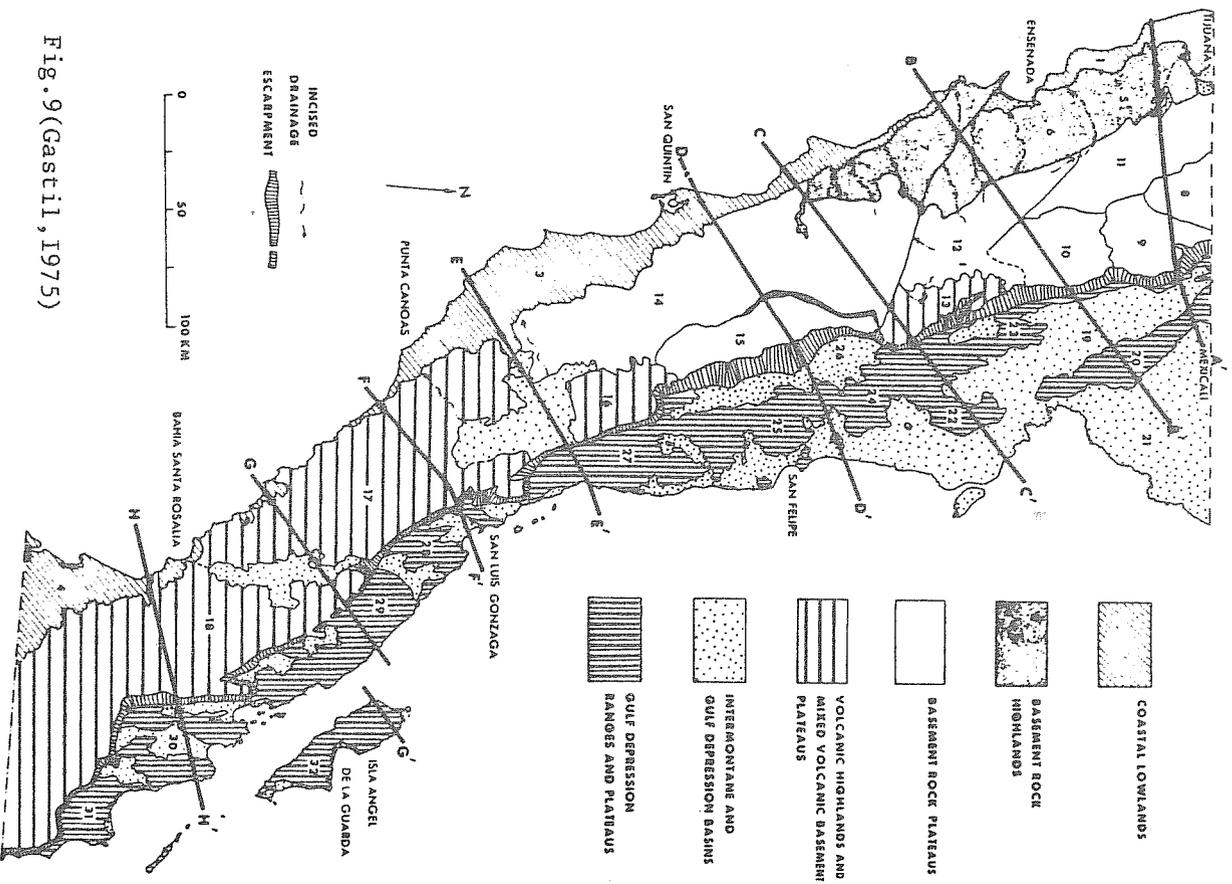


Fig.9(Gastil, 1975)

Geomorphic provinces of Baja California. For profiles A-A' to H-H' see Plate 4. Numbers correspond to the following geographic provinces: 1, northwest coastal area; 2, Todos Santos coastal plain; 3, central coastal area; 4, Llano del Berrende; 5, La Zorra block; 6, Ensenada block; 7, Tomas block; 8, McCain plateau; 9, La Rumorosa plateau; 10, Laguna Hansen surface; 11, Tecate surface; 12, Alamo block; 13, Santa Catarina plateau; 14, Peterson block; 15, Sierra San Pedro Mártir; 16, Matomi plateau; 17, Jaraguay block; 18, San Borja block; 19, Laguna Salada; 20, Sierra de los Cucapas and Sierra del Mayor; 21, Colorado River Delta; 22, Sierra Pinas; 23, Sierra Tinajas; 24, Cerro Borrego block; 25, Sierras San Felipe and Santa Rosa; 26, Valles San Felipe and San Pedro; 27, Puertecitos block; 28, Gonzaga block; 29, Remedios block; 30, Los Angeles-Las Animas block; 31, El Barril block; 32, Isla Angel de la Guarda.

2.2 STRATIGRAFIA

EOCENE	SANTA ANA HOUCHEMIS DRANGÉ CALIFORNIA, U.S.A.	SAN DIEGO COUNTY, CALIFORNIA, U.S.A.	TIJUANA AREA, MEXICO	SOUTHERN PART OF THE STATE OF BAJA CALIFORNIA, MEXICO	TERRITORY OF BAJA CALIFORNIA, MEXICO
	SANTIAGO FM 1	ROWAY GROUP 3	BUENOS AIRES FM 6	UNNAMED	BATEQUE FM 10
PALEOCENE	SIVERADO FM 1,2	LA JOLLA GROUP 3	DELICIAS FM 8	SEPOL TUNA FM 7	TERTITATE FM 8
					SANTO DOMINGO FM 8

Fig. 10 (Gastil, 1975)

Settore M

2.2.1 Area di Tijuana (Flynn 1970)

-Delicias Formation (Eocene medio) E' suddivisa in 2 membri: membro inferiore argillitico di 60m di spessore (fig.11); membro superiore arenaceo dello spessore di 50m. (fig.12). A letto un paleosuolo separa la formazione dalla sottostante Rosario F. Secondo Patrick (1976) questo paleosuolo si è formato tra il Cretacico terminale e l'Eocene inferiore in un clima simile a quello presente attualmente nelle zone umide poste nella fascia equatoriale, in condizioni quindi molto differenti da quelle aride-temperate presenti oggi.

A tetto una lieve discordanza angolare la divide dai conglomerati della Buenos Aires F. L'ambiente è un bacino ristretto con acque basse e salmastre. Il membro superiore rappresenta un approfondimento della sedimentazione. Gli addoriti vengono da E. (fig.3)

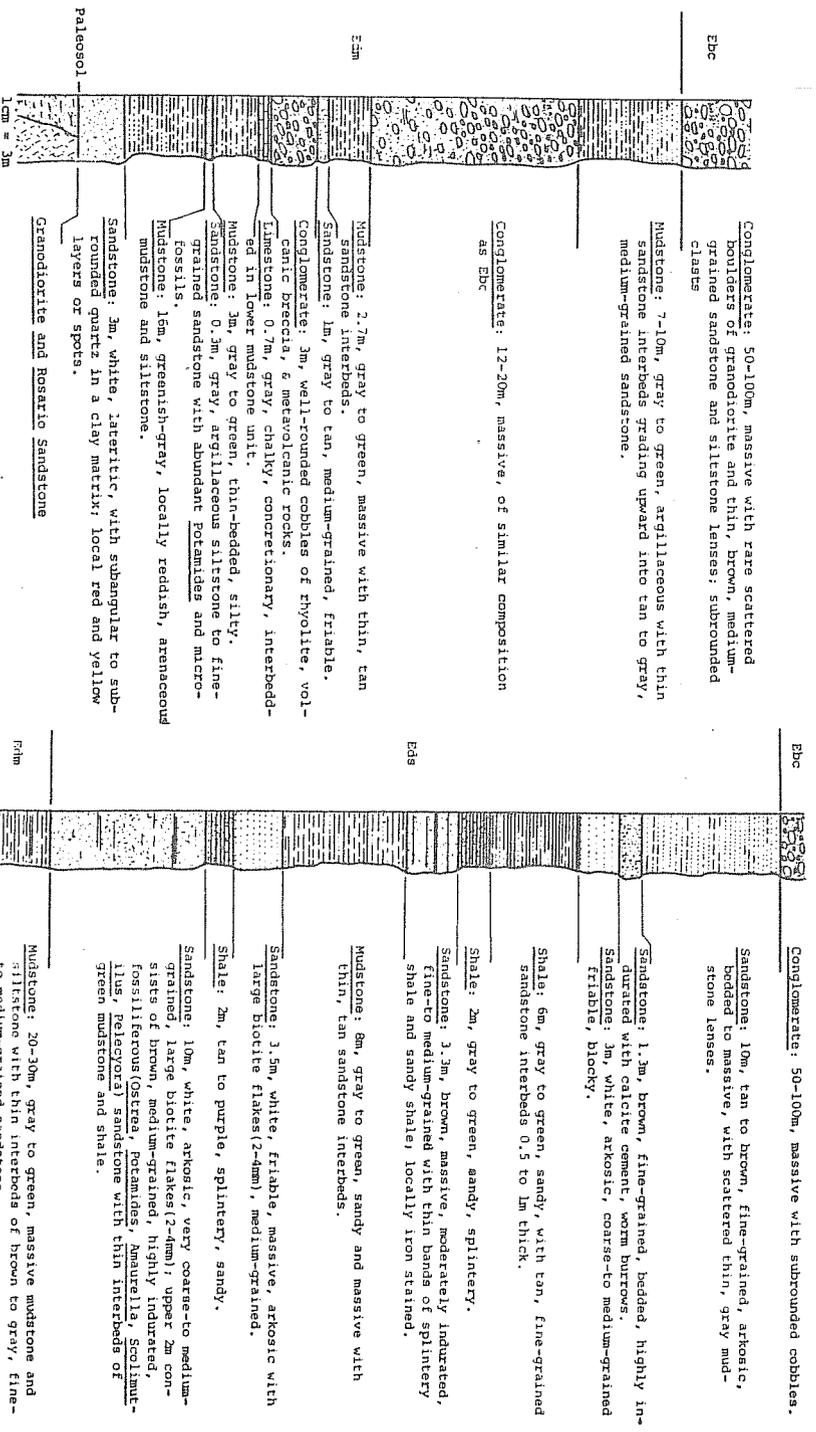


Fig. 11 (Flynn, 1970)

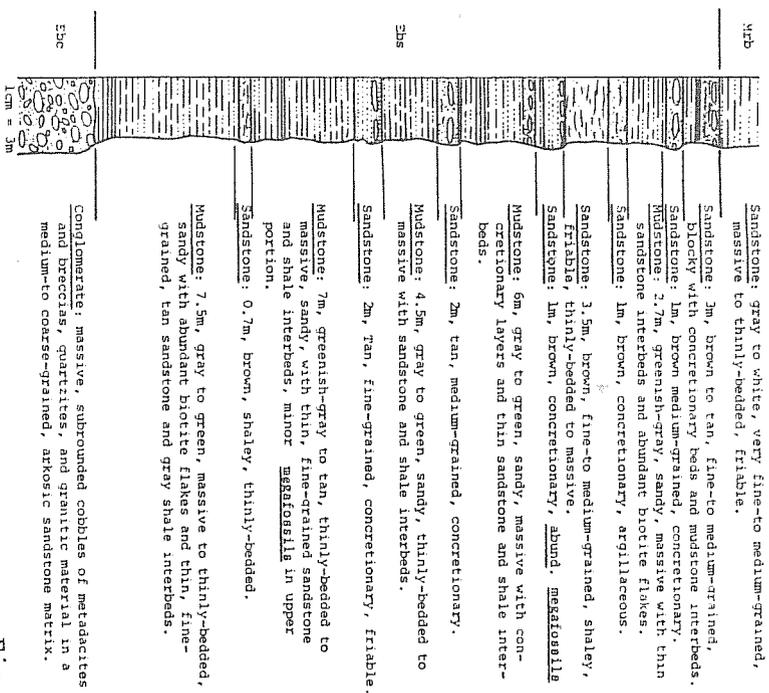
Fig. 12 (Flynn, 1970)

-Buenos Aires Formation (Eocene superiore) E' anch'essa separata in 2 membri: membro inferiore conglomeratico dello spessore di 70m. I clasti variano da 1cm a 3m.

In alcuni punti questo membro è concordante con la Delicias F., in altri è discordante. L'ambiente è fluviale.

Il membro superiore è prevalentemente arenaceo con intercalazioni argillitiche: lo spessore è di 60-80m.

E' presente un'abbondante malacofauna. L'ambiente è litorale. (fig.3,13)



Geologic section of the Buena Vista sandstone member (fossil locality 2). Fig. 13 (Flynn, 1970)

2.2.2 Area di Ensenada (Gastil et alii 1975, Beal 1948)

A Punta San Isidro affiorano depositi litorali che rappresentano il limite settentrionale dei sedimenti paleocenici.

A Capo Colnett Beal riporta la seguente sezione:

	Ft
Alluvium	
Sandstone, calcareous, with oyster shells.....	10
Clay, dirty white, sandy.....	50
Shale, soft, blue, sandy.....	50
Sandstone, soft, red.....	100
Sandstone, soft, yellow.....	100
Shale, soft, blue, sandy.....	50

L'età non è specificata (Paleocene-Eocene?)

Settore Centrale

2.2.3 Area di El Rosario (Gastil et alii 1975)

-Sepoltura Formation Sopra la Rosario F. sono presenti arenarie grigie, verdi, rosse con sottili intercalazioni argillose, conglomeratiche e carbonatiche. Lo spessore è di 300 metri per i depositi paleocenici. Più a E a quote maggiori affiorano 40m di siltiti blu-grigie dell'Eocene inferiore (area di Mesa San Carlos), il cui contenuto faunistico indica almeno 160m di profondità. Se fosse-

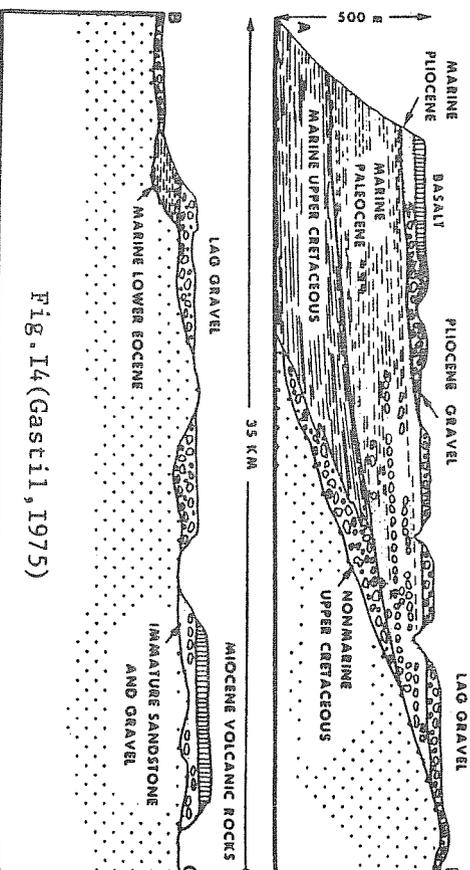


Fig. 14 (Gastil, 1975)

Diagrammatic section ABC through Mesa San Carlos from the Pacific coast to east of El Mármol (locs. 23 through 26 in Fig. 20).

ro presenti 160m d'acqua sopra gli attuali affioramenti, il mare sarebbe potuto penetrare fino alla zona del Golfo di California. Anche se non si fosse esteso così profondamente nell'entroterra, le "Old Erosion Surfaces" presenti nelle catene peninsulari (vedi 2.1), devono essere state comunque molto vicine al livello del mare. (Fig. I4)

2.2.4 Area di Bahía Santa Rosalía (Gastil et alii 1975)

Al di sopra del basamento sono presenti 70m di arenarie fossilifere del Paleocene-Eocene?. L'ambiente è sublitorale. Sono presenti arenarie rosso-brune con calcari e conglomerati.

Contengono Bivalvi, Gasteropodi e radioli di Echinidi.

2.2.5 Península di Vizcaino (Helenes 1984)

-Bateque Formation E' costituita da una sequenza di materiali clastici fini depositi in condizioni neritiche. Massimo spessore 1400 m.

E' concordante sulla sottostante Valle F. Le Dinoflagellate indicano come età Daniano - Luteziano. Questa F. è stata carotata nella Baía di Vizcaino.

Settore S

2.2.6 Bassa California meridionale (Beal 1948, Ojeda Rivera 1979, Fulwider 1984)

-Tepetate Formation I principali affioramenti sono situati nel deserto di Santa Clara e nella Baía di Santa Magdalena.

La formazione è composta da siltiti gialle e arenarie interstratificate, caratterizzate da stratificazione incrociata a grande scala, che rappresenta una delle caratteristiche più evidenti della Tepetate F. L'ambiente è di delta prossimo alla spiaggia. I livelli a stratificazione incrociata a grande scala rappresentano strati di fore-set. Lo spessore massimo (2000 m) è presente nella zona a E di San José del Cabo.

Sezione a E di San José del Cabo:

Desert sands on surface	
Silts, buff to yellow, sandy with frequent intercalated strata of hard brown, shabby sandstones.	F1
Sandstone, massive, coarse buff, with layers of fine-grained, brown concretionary sandstone.	3000
Sand, coarse and heavy conglomerate	2000
Silts, yellow to olive drab, sandy, with thin beds of hard brown, shabby sandstone.	200
Total	1500
	6700+

Sezione di Arroyo San Juan Dresso la Purissima:

Vesicular lava.	
	F2
	100
	Unconformity
<i>Ysidro formations</i>	
Light, greenish, hard sandy shale.	20
Calcareous, white, fossiliferous sandstone with <i>Turritella ocyana</i> , big oysters, other bivalves, and sharks' teeth.	10
Basal conglomerate, well-rounded dark pebbles in some places; in others poorly rounded fragments of volcanic rock cemented with a matrix of white tuffaceous sandstone.	8

Unconformity

Tepetate formations

Yellow, soft, silt with one or two beds of conglomerate composed of well-rounded pebbles.	100±
Yellow, massive sandstone, in some places greenish.	750
Grayish sandy shale.	100
Buff nodular rather hard, cross-bedded sandstone. The nodules are in layers a few feet apart and are greenish in color. Some oysters and casts of <i>Turritella</i> s with occasional poorly preserved <i>Pseudophragminae</i> .	700
Greenish and bluish sandy shale (bottom not exposed).	300+

Sezione di Arroyo Salada a E di Bahía Magdalena:

Sandstones, tan, massive, interbedded with blue, hard, calcareous, shabby beds.	F1,
Shales, gray to rusty colored, thin-bedded and shabby sandstones.	1200
Sandstones, massive, tan and gray, nodular	1000
Shales, tan or brown, silts and sandstones.	350
Clays, soft, bluish, gray, gypsiferous.	300
Total	2850±

Ojeda Rivera (1979) indica che al di sopra della parte medio-alta della F., caratterizzata da arenarie a stratificazione incrociata a grande scala, sono presenti letti argillosi contenenti gesso. Le arenarie si sono deposte sotto l'azione di forti correnti costiere e in ambiente di delta. I gessi e le argille rappresentano invece un disseccamento parziale o totale del bacino e condizioni lacustri. La f. è separata dalla soprastante Monterey F. (=San Gregorio F.) da una leggera discordanza angolare.

Nello schema paleogeografico di fig.19, la trasgressione avvenuta durante la deposizione della Tepetate F. raggiunge anche la costa E della penisola, e sommerge un ipotetico Golfo di California. E' possibile che gran parte della Bassa California sia stata sommersa in questo periodo (vedi 2.2.3), ma la presenza di un Protogolfo appare dubbia, non essendo ancora stati ritrovati depositi di questa età lungo la costa orientale o all'interno del Golfo.

Fulwider (1984; si è in possesso solo del riassunto di questo lavoro) indica un'età Cretacico superiore-Eocene inferiore per la Tepetate F. Distingue inoltre 3 membri: cannonball, interbedded e crossbedded. Secondo questo autore la deposizione è avvenuta nella parte medio-superiore della scarpata in condizioni di scarsa ossigenazione. (vedi 1.2.5).

Per l'ubicazione dei principali affioramenti vedi fig.16

2.3 VULCANISMO(Gastil et alii 1975)

Alla base della sezione terziaria, presente a S di Bahía de Los Angeles, una colata basica alcalina ha dato un'età di 59my. (vedi 4.2.9)

Nella parte meridionale della Sierra Juárez un clasto andesitico, presente in un conglomerato sottostante le vulcaniti terziarie, è stato datato 53,8my. (vedi 4.2.4)

3 OLIGOCENE

3.1 INTRODUZIONE

L'Oligocene rappresenta un periodo di transizione a un regime tettonico dif-ferente da quella che ha dato origine alle catene circumpacifiche mesozoiche. Durante la fine dell'Oligocene, e soprattutto nel Miocene, un'evento distensivo di vastissima portata interessa gran parte della regione compresa tra il Plateau del Colorado e la costa pacifica, formando la "Basin and Range Province".

La crosta continentale fino ad allora stabile si frammenta in blocchi allungati che sprofondano e subiscono basculamenti.

A questo evento dilatazionale si accompagna un forte vulcanismo con eruzioni riolitiche, dacitiche, andesitiche e basaltiche.

Il Golfo di California e la parte orientale della penisola vengono ad appartenere interamente a questa provincia (fig.15).

Nell'Oligocene la parte settentrionale della Bassa California rimane emersa, mentre a S si instaura una piattaforma continentale parzialmente sommersa posta in continuità con la parte occidentale del Messico e riconverta dai materiali vulcano-clastici provenienti dalla Sierra Madre Occidentale.

I sedimenti marini oligocenici, presenti nella Bassa California meridionale, costituiscono la San Gregorio F. contenente argille, diatomiti, fosforiti e cineriti, queste ultime provenienti da oriente.

E' probabile che questa formazione sia eteropica alle arenarie rosse della Salto F. affioranti lungo la costa la costa E della penisola, che rappresentano depositi alluvionali derivati dallo smantellamento delle vulcaniti della Sierra Madre Occidentale. Nella Salto F. sono intercalate piroclastiti acide e rare colate basaltiche, probabilmente connesse all'attività vulcanica della area precedentemente citata.

Nella Sierra Madre Occidentale si assiste infatti a una forte ripresa del vulcanismo anch'esso bimodale, caratterizzato da vastissimi espandimenti ignimbritici ed effusioni basaltiche subordinate (32-23 my, Upper Volcanic Super-Group). Gastil (1979) ritiene che queste eruzioni siano da ricollegare alle prime fasi della distensione crostale connessa alla provincia "Basin and Range".

Tra la fine dell'Oligocene e l'inizio del Miocene si imposta una catena di strato-vulcani andesitici lungo una fascia collocata approssimativamente a E della penisola (Comondù Formation).

Lo spostamento verso W dell'attività vulcanica precedentemente presente nella Sierra Madre Occidentale viene annunciata da un progressivo sollevamento della crosta del Messico occidentale, registrato in Bassa California dall'arrivo di conglomerati costituiti da rocce metamorfiche.

I problemi inerenti a questo vulcanismo verranno discussi nel capitolo 4.

In conclusione ricordo che la cronologia del quadro stratigrafico oligocenico è stata decisamente rinnovata dai lavori presentati al Congresso sulla Geologia della Bassa California, svoltosi nel 1984.

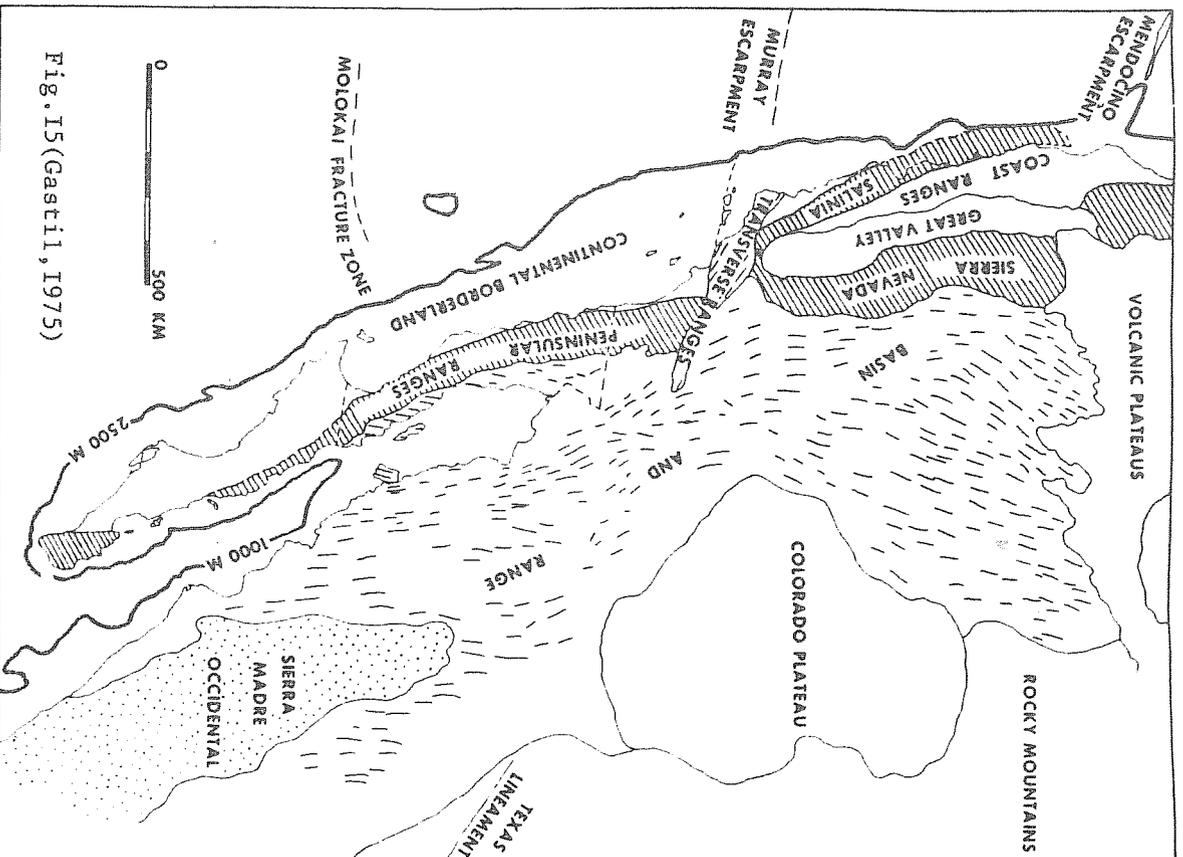


Fig. 15 (Gastil, 1975)

Regional setting of the state of Baja California. The continental edge is marked by the 1,000-m isobath in the Gulf of California and the 2,500-m isobath in the Pacific Ocean.

3.2 STRATIGRAFIA

	NORTH OF THE BORDER		STATE OF BAJA CALIFORNIA		GULF DEPRESSION		TERRITORY OF BAJA CALIFORNIA		GULF COAST	
	SAN DIEGO	IMPERIAL VALLEY	WEST COAST	WEST COAST	WEST COAST	WEST COAST	WEST COAST	WEST COAST	WEST COAST	GULF COAST
MODERNE	GRAVIA 5	GRIT MOUNTAIN FM 4	ROSARITO BEACH FM 10	OSWALDO VOLCAN AND SURROUNDING STRATA 12	ATARIKI W. 11 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14	ATARIKI W. 11 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14	ATARIKI W. 11 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14	ATARIKI W. 11 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14	ATARIKI W. 11 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14	ATARIKI W. 11 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14 SAN ZABERASTA 14
OLIGOCENE										

Correlation of middle to upper Cenozoic formations. Numbers opposite formation names indicate the following sources: 1, Herlein and Grant (1939); 2, M. A. Hanna (1926); 3, Dall (1898); 4, Ingle (1973); 5, Arlin and Pinckney (1973); 6, Dibble (1954); 7, Tarbet (1951); 8, Durham (1950); 9, Woodard (1974); 10, Minch (1967); 11, Beal (1948); 12, Andersen (App. 1); 13, Heim (1922); 14, Mina (1957); 15, Beal (Marland Oil Company of Mexico, 1924); 16, Wilson and Rocha Moreno (1955); 17, McFall (1968).

Gastil, 1975

3.2.1 Isola di Tiburon e Costa dello Stato di Sonora(Gastil 1979)

Le rocce cenozoiche di quest'area sono state divise in 5 sequenze. La più vecchia consiste di ignimbriti, basalti, letti rossi a stratificazione incrociata, calcari d'acqua dolce, selci e vulcanoclastiti. Non è stata direttamente datata, ma si pensa che sia più vecchia di 22my.

Può essere correlata alle ignimbriti con basalti della Sierra Madre Occidental e con la Salto F. della Bassa California meridionale. Questi affioramenti potrebbero rappresentare un termine da passaggio tra le 2 serie citate:

3.2.2 Bassa California meridionale

-Salto Formation (Gastil 1975, 1979, Hausback 1984) Questa formazione è stata definita da Mc Fall (1968) come unità basale del Comondú Group. E' formata da più di 300m di arenarie rosse tufacee a stratificazione incrociata con tufi chiari interstratificati. La sezione tipo è posta 2 miglia a N dell'Arroyo Amorales nella parte centro occidentale della penisola Concepcion. Lo stesso autore riporta un'età di $28,1 \pm 0,9$ my per alcuni depositi piroclastici presenti in questa unità.

Gastil (1979) descrive una serie di affioramenti attribuiti alla Salto F.:

Sierra Gigantia: a W al di sopra della Tepetate F. sono presenti argille silicee e arenarie dell'Oligocene superiore-Miocene medio.

Le più vecchie sono a S dove sono intercalate a ceneri di 28my.

N di La Paz: dal New Loreto Grade fino a pochi chilometri a N di Tambodiche affiorano alla base della serie cenozoica arenarie rosse a stratificazione incrociata con ceneri rosa. Al di sopra sono presenti strati marini con denti di *Cornwallius* dell'Oligocene.

Nella parte basale della sezione affiora un basalto che non si è riusciti a datare.

Punta San Telmo: è esposta la discordanza angolare, di grande rilievo morfologico, esistente tra le arenarie rosse a stratificazione incrociata e il basamento mesozoico. Queste arenarie sono ricoperte in discordanza da arenarie vulcanoclastiche verdi e marroni con tufi rosa, simili a quelli ritrovati nella penisola a N di La Paz.

Penisola a N di La Paz: nella parte orientale di questa fino a 50 Km a N della città affiorano, al di sopra del basamento, tufi rosa, arenarie vulcanoclastiche, arenarie tufacee e conglomerati. Un basalto presente nella parte superiore della sezione ha dato un'età di 27.5my.

In conclusione, la Salto F. affiora prevalentemente nella parte E della Bassa California meridionale. Le età radiometriche indicano che la deposizione di questa è coeva o precedente a quella della San Gregorio F. e in parte contemporanea all'attività vulcanica della S.M.O (32-23my). Questi depositi formavano una piana alluvionale posta tra la piattaforma continentale sommersa dove s'è deposita la San Gregorio F. e i Plateau ignimbritici della Sierra Madre Occidental. La linea di spiaggia era situata nei pressi dell'attuale costa W del Golfo. La presenza di vulcaniti acide con basalti subordinati induce a correlare questi prodotti a quelli emessi contemporaneamente nella Sierra Madre Occidental (Gastil 1979). La Salto F. potrebbe quindi rappresentare le facies più distali, prevalentemente detritiche, del vulcanismo della Sierra. (4.2.1)

-San Gregorio Formation (Ojeda Rivera 1979, Hausback 1984, Piper 1984, McLean 1984)

La San Gregorio F. ricopre in discordanza la Tepetate F. ed è ben esposta a E e a W della Sierra Giganta a occidente della Baia di La Paz. Affiora diffusamente anche nell'area di La Purissima.

Per la loro somiglianza, queste rocce sono state riferite alla più giovane Monterey F. dell'Alta California, che è però miocenica.

Lo spessore esposto è di 100m nello Arroyo San Hilario (Ojeda 1979), 127m a San Juan de la Costa (Escandon 1978) e perlomeno 72m nella regione di La Purissima.

In quest'ultima la F. consiste di una sequenza di argille silicee, fosfatiche, diatomiti, arenarie fosfatiche a pellets contenenti denti di squali e ossa di mammiferi marini. (fig.16)

La presenza di Ostracodi con guscio sottile indica un ambiente di estuario con acque salmastre. Questo, unitamente alla presenza di ossa di mammiferi marini, di rari coralli solitari, di coquine di Pelecyropodi e di stratificazione incrociata, indica un ambiente marino poco profondo, prossimo alla costa.

A La Purissima i foraminiferi mostrano invece un ambiente batiale (1500-2000m).

Qui la San Gregorio F. è direttamente ricoperta dalla Isidro F. di ambiente marino poco profondo. Questo fatto implica un rapido periodo di sollevamento o una lacuna nella sedimentazione. I conglomerati contenuti nei 15m superiori della sezione di San Juan de la Costa contengono ciottoli di metavulcaniti, ben arrotondati e fortemente silicizzati. Sono composti da ignimbriti rinsaldate, andesiti, quarzo bianco e arenarie quarzoso-feldspatiche. Questi conglomerati sono presenti anche nella Isidro F.

Furono trasportati verso E sulla piattaforma della Bassa California dal Messico occidentale in seguito a sollevamento di alcuni compartimenti di questa regione. Per quanto riguarda la datazione di questa F., la prima concreta evidenza di un'età oligocenica consiste nel ritrovamento di resti di *Cornwallius* (See-cow, Vanderhoof 1942).

L'età di una diotite contenuta in un tufo affiorante nell'Arroyo San Hilario ha dato un'età di 25,5 my (Hausback 1982).

Quattro datazioni su tufi nell'area de La Purissima hanno dato età comprese tra 27,2 e 23,4my.

Sempre a La Purissima le Diatomee hanno confermato come età l'Oligocene superiore (McLean 1984). Anche coccoliti e denti di squalo, provenienti dalla stessa

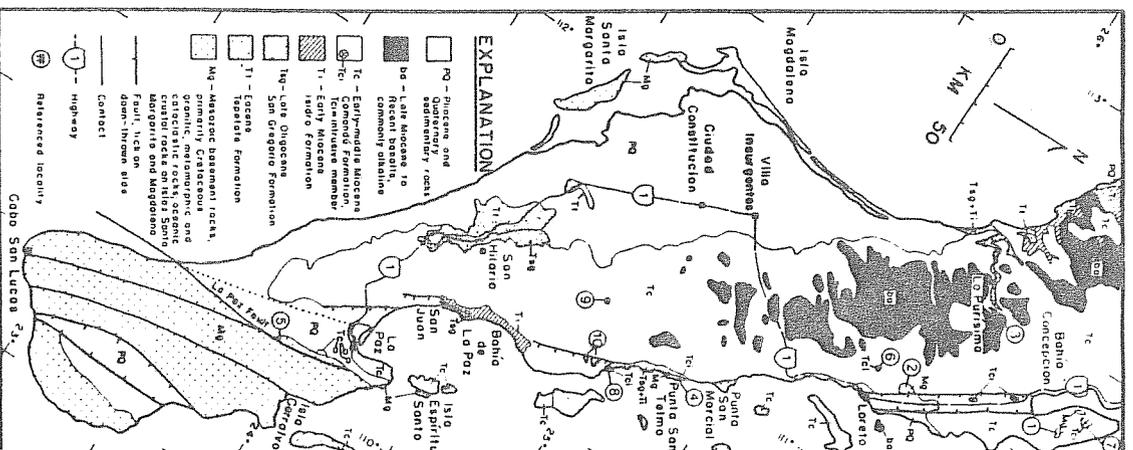


Fig. 16 (Hausback, 1984)

rio F. Il brusco cambio di temperatura delle acque o la formazione di marea rosse può essere responsabile della morte di grandi quantità di vertebrati marini, i cui resti formano le facies bioclastiche.

Nello schema paleogeografico di fig.19 viene indicata la presenza di un ipotetico "Protogolfo", le cui acque calde si sarebbero mescolate a quelle fredde provenienti dal Pacifico. La presenza di un Protogolfo oligocenico non è convalidata da alcun dato. In questa area sono presenti solamente i depositi della Salto F. di ambiente continentale.

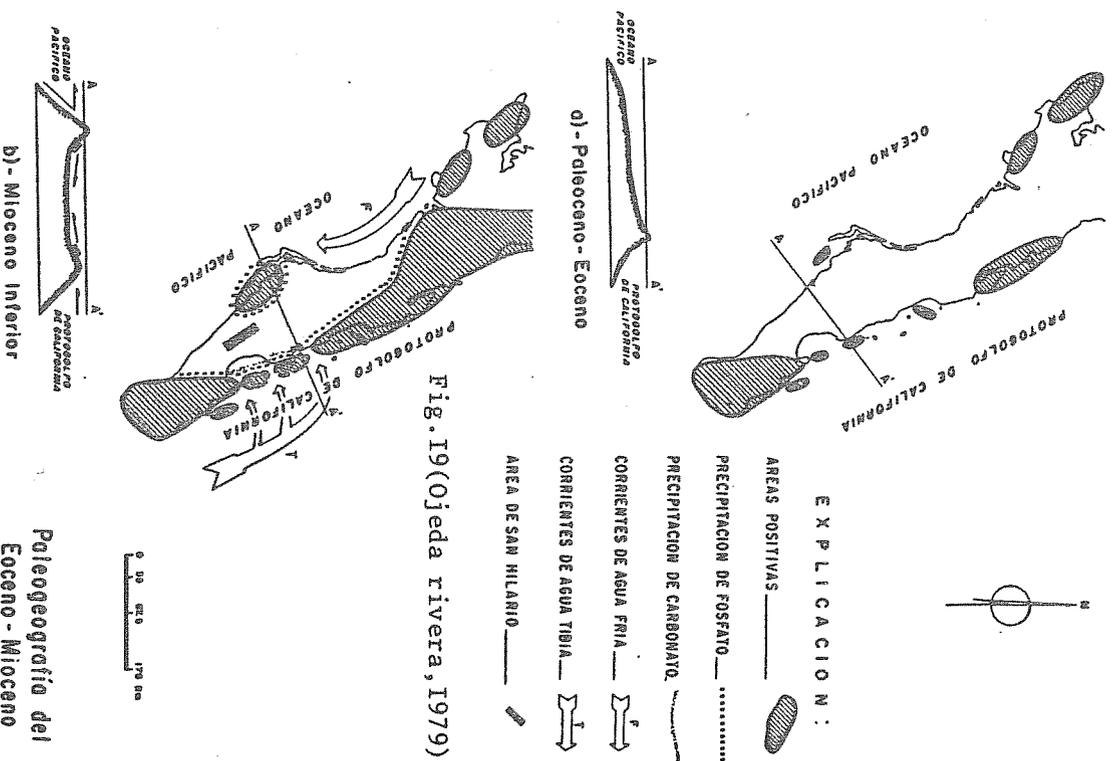
Piper (1984) ha compiuto uno studio geochimico comparativo sulle fosforiti della San Gregorio F. e su quelle della Monterrey F. affiorante in Alta California. Nella prima le fosforiti sono presenti come pellets apatitici, associati ad arenarie depostesi a meno di 100 m di profondità; nella seconda i fosfati analizzati sono associati a noduli di gesso e marne ricche di materia organica depostesi a profondità di 1000 - 1500 m.

Sebbene la distribuzione di numerosi elementi è differente, la distribuzione è l'abbondanza della maggior parte non differisce in modo considerevole.

Il Mn e le terre rare sono fortemente frazionati nelle apatiti della San Gregorio F. ma non nella Monterrey.

Ni, Cu, Co, Cr, Zn, Mo e V sono abbondantemente presenti nella frazione clastica della Monterrey F., ma non mostrano alcuna correlazione con la San Gregorio.

Le concentrazioni di Cr variano da 15 a 400 ppm in tutti i campioni e sono alte in quelli ricchi di CaCO_3 . Cd, Sc e B e altri elementi mostrano forte sovrapposizione nelle concentrazioni presenti nelle due unità, ma nessun trend significativi.



3.2.3 Mayarit Nord-orientale (Gastil 1979)

In questa regione sono presenti rocce vulcaniche silicee con intercalazioni di depositi fluviali. La serie è correlabile a quella delle ignimbriti presenti tra Mazatlan e Durango. (vedi 3.2.5)

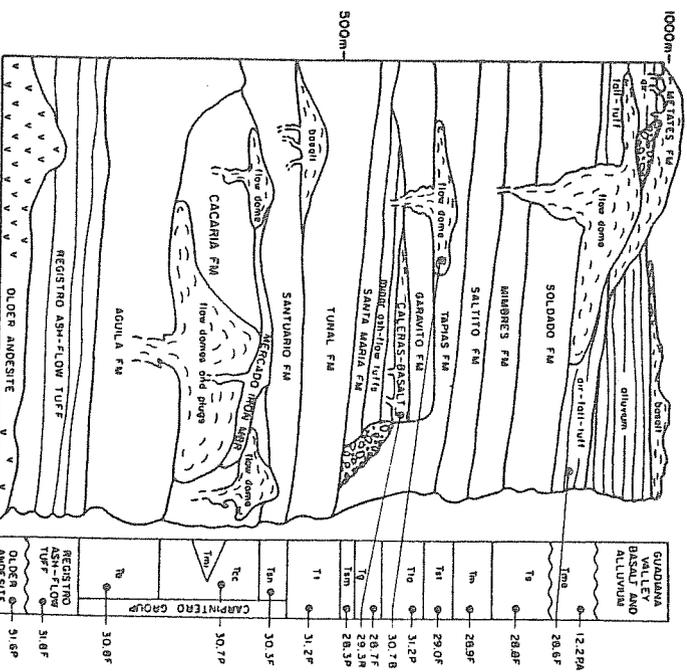
3.2.4 Mayarit occidentale e Jalisco Nord-occidentale (Gastil 1979)

In questa regione non sono state ritrovate rocce d'età compresa tra 32 e 23 my (vulcanismo della S.M.O.).

Questo fatto ha 2 spiegazioni: o la sequenza della Sierra non si è mai depositata o è stata completamente rimossa durante i primi stadi della deformazione Basin and Range.

3.2.5 Area tra Mazatlan e Durango (McDowell 1977)

Durango La sequenza vulcanica di Durango è composta da 800m di rocce vulcaniche riolitiche(32,1-28,3my) che giacciono in discordanza sopra andesiti di 51my (fig.20).



Stratigraphy of Durango volcanic sequence from Swanson and others (1978). Average K-Ar ages of units are given on right in millions of years. F = alkali feldspar and feldspar mixture; P = plagioclase; A = amphibole; B = biotite; R = whole rock.

Fig. 20(McDowell, 1977)

Espinazo-El Salto (60 Km a W di Mazatlan). La parte basale della sequenza contiene una potente serie di basalti e una colata riolitica massiccia. Questa è ricoperta da una successione di ignimbriti ben separate le une dalle altre, seguite da un'ignimbrite della potenza di 150m. La parte superiore consiste di numerosi ash-flows aventi grande estensione laterale. (fig.21a)
Lo spessore totale è di 1000m.

La maggior parte delle ignimbriti ha 23,3my.

La messa in posto di queste rocce deve essere stata molto rapida. I duomi presenti al di sotto di questa hanno dato un'età di 27,7my.

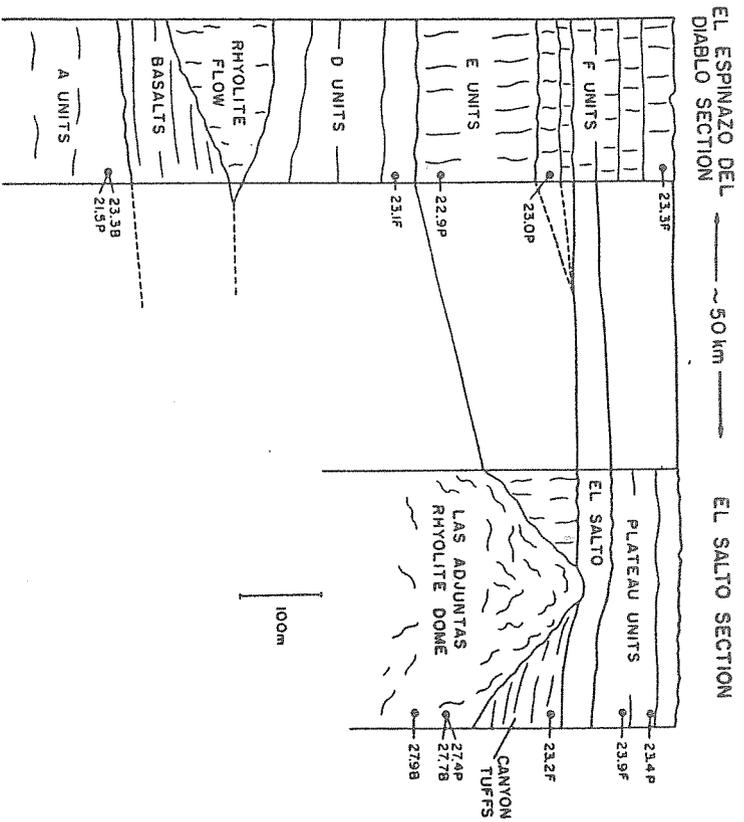
Gli autori ritengono che la sequenza di Durango immerga al di sotto di quella di Espinazo, ma non escludono relazioni molto più complesse.(fig.21b).

La serie di Espinazo ha un chimismo marcatamente calcoalcalino, mentre quella di Durango è più alcalina, ma appartiene ancora alla serie calcoalcalina.

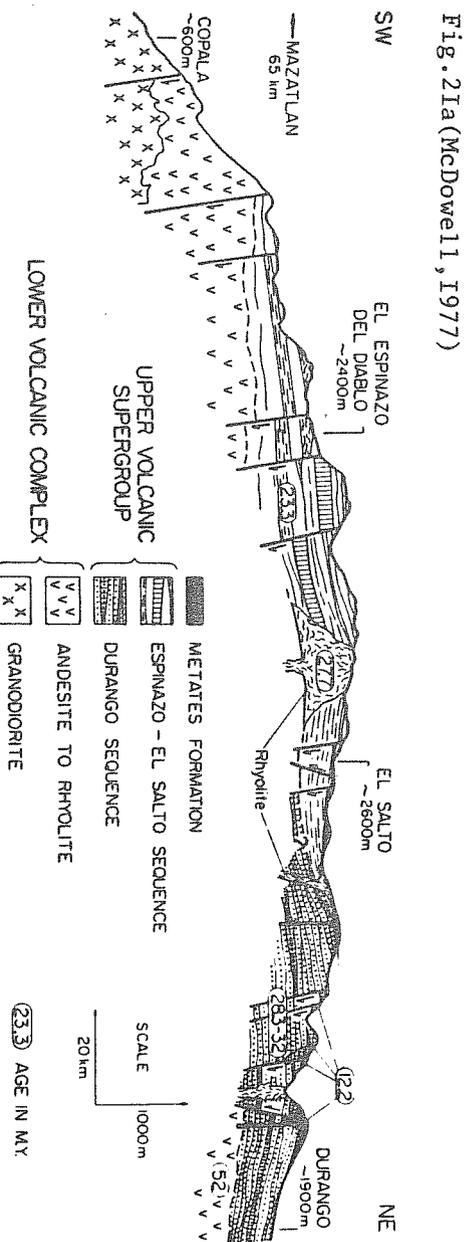
3.2.5 Chihuahua (McDowell 1979)

Le sezioni 4 5 7 di fig.22b sono simili a quelle dell'area di Durango-Mazatlan, e sono composte da ignimbriti riolitiche, con lave mafiche subordinate.

La sezione 6 è invece composta di 3 serie. Solamente la più giovane (28,6my) è correlabile a quelle della Sierra Madre Occidentale, ed è costituita da colate basaltiche associate a una sottile ignimbrite riolitica.



Composite stratigraphic section for volcanic sequence at Espinazo del Diablo (Wairt, 1970) and at El Salto (Wahl, 1973). Individual K-Ar dates plotted with letter symbols as in Figure 2.



Schematic cross section through Sierra Madre Occidental between Durango and Mazatlan. Profile and horizontal distances taken along Mexican National Highway 40.

Fig. 21b (McDowell, 1977)

Si-Ni-Q' plot for analyzed rocks from western Mexico. Plot is after Irvine and Baragar (1971). Because of overlap, not all available analyses are plotted. SMO = Sierra Madre Occidental.

+E CHIHUAHUA
 OSMO - UPPER VOLCANIC SUPERGROUP
 OSMO - LOWER VOLCANIC COMPLEX

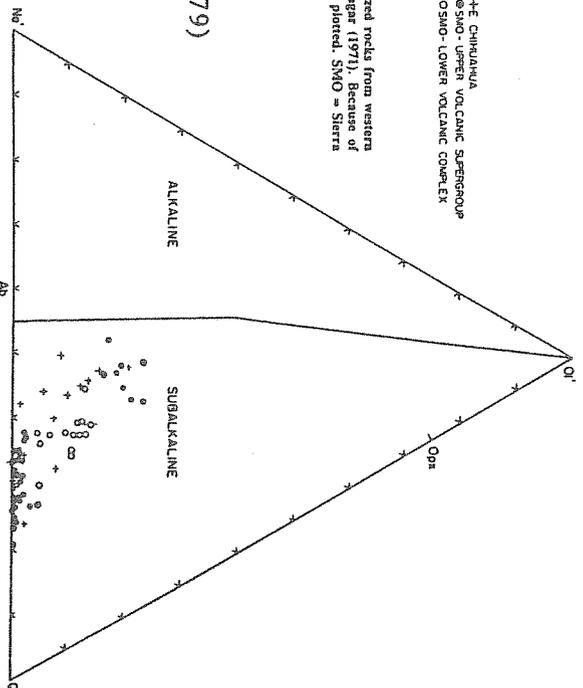


Fig. 22 (McDowell, 1979)

4 MIOCENE

4.1 INTRODUZIONE

Il Miocene costituisce un momento estremamente complesso dell'evoluzione neogenica della Bassa California, caratterizzato dalla costante presenza di forte attività vulcanica connessa a centri locali.

All'inizio del Miocene la parte meridionale della penisola si comporta ancora come una piattaforma stabile, ricoperta da un mare generalmente poco profondo, i cui depositi costituiscono le arenarie della Isidro Formation.

Attorno a 25-24my su questa piattaforma si imposta quasi ovunque contemporaneamente una grande cintura di strato vulcani andesitici calcocalcalini (Comondú Formation), tra la parte orientale della penisola e la costa occidentale del Messico per una lunghezza totale di oltre 1000 Km, da Vallecitos in California fino alla costa occidentale dello Stato di Nayarit in Messico.

La Comondú F. che affiora in Bassa California è costituita prevalentemente da prodotti vulcanoclastici derivati dallo smantellamento di tale catena vulcanica. In parecchie località sono state ritrovate colate di lava, duomi e dicchi che rappresentano i resti di centri d'emissione. Questo arco si è impostato, con tutta probabilità, lungo una antica zona di debolezza crostale.

Gli autori ritengono che il vulcanismo della Comondú F. rappresenti una tipica attività di arco impostatosi su crosta continentale, connessa a una zona di subduzione, con piano di Benjof immergente verso E sotto la placca Nord-Americana, presente a W del borderland.

Ricordo, comunque, che complessi di subduzione miocenici non sono mai stati ritrovati in questo settore (vedi 4.5 e 6.2)

Attorno ai 12-10my, dopo un breve periodo di transizione che accompagna il progressivo esaurirsi del vulcanismo calcoalcalino, si assiste contemporaneamente a emissioni di basalti alcalini e molto subordinatamente tholeitici, entrambi quantitativamente molto meno importanti dei prodotti precedenti. L'attività tholeitica cessa attorno a 6my, mentre quella alcalina prosegue fino all'Olocene. Contemporaneamente al cambio del chimismo si verifica una forte distensione, che da lungo all'assetto "Basin and Range", attualmente riconoscibile nel settore E della penisola (L'evento è avvenuto intorno ai 10my).

La presenza di sedimenti marini del Miocene superiore, affioranti lungo le rive dell'attuale Golfo, testimonia che già in questo periodo in seguito a tale fase tettonica, si era formato un bacino marino, noto in letteratura come "Protogolfo di California", delimitato a W da una penisola.

La sedimentazione tardo-miocenica è avvenuta in condizioni ambientali molto diversificate, da continentali a marine profonde, come dimostra la grande variabilità delle facies di questi depositi.

Dalla fine del Miocene, e più chiaramente nel corso del Pliocene, si definisce un nuovo assetto strutturale caratterizzato da attività trascorrente, concentrata principalmente nell'area del Golfo.

Quasi contemporaneamente a queste 2 fasi, si verificano, tra 12,5 e 11my e a 6,5my, importanti riorganizzazioni dei movimenti delle placche oceaniche pacifiche.

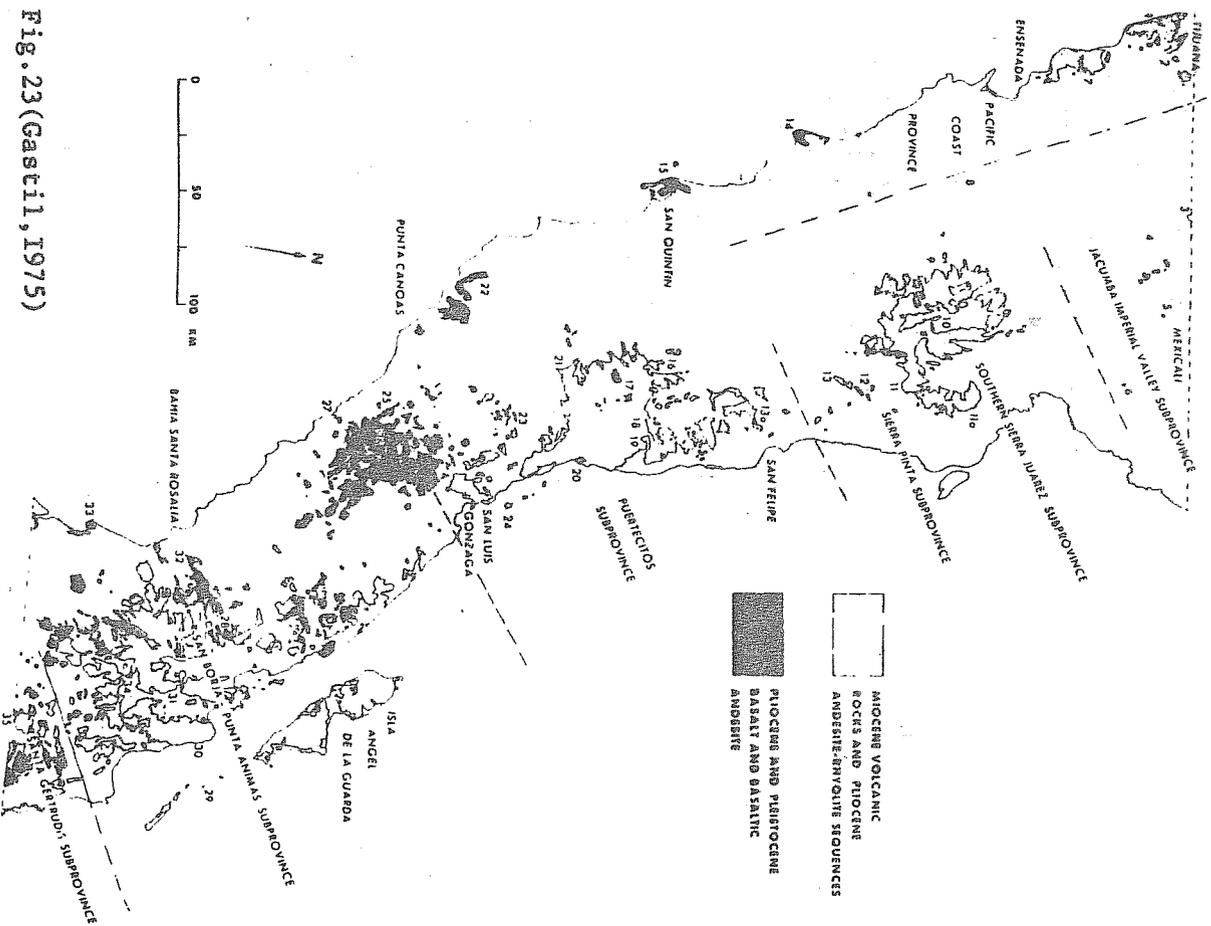


Fig. 23 (Gastil, 1975)

Distribution of Cenozoic volcanic rocks. Numbers 1 through 35 correspond to localities cited in the text.

4.2

STRATIGRAFIA

	NORTH OF THE BORDER		STATE OF BAJA CALIFORNIA		TERRITORY OF BAJA CALIFORNIA	
	SAN DIEGO	IMPERIAL VALLEY	WEST COAST	GULF DEPRESSION	WEST COAST	GULF COAST
MIOCENE	OTAY FM. 5	CAMEL BULT MOUNTAIN FM. 9	ROSA RITO BEACH FM. 10	UNNAMED VOLCANIC AND NONMARINE STRATA 12	TORTUGA FM. 14	17 HORNILLAS FM. 17 PLANES FM. 17 WHITING FM. 17 PELOUS FM. 17
				UNNAMED MARINE DEPRESSION 16	SAN ZACARIAS FM. - SANTA CLARA FM. 14	
OLIGOCENE	ANZA FM. 8	MILWAUKEE MINE SITE 10	NONMARINE DEPOSITS PROBABLY OF THIS AGE 15	ZORRA FM. 10 SAN JOAQUIN FM. 10	VSIORD FM. 15	17 CEMENDU GROUP SALTO FM. 17

Correlation of middle to upper Cenozoic formations. Numbers opposite formation names indicate the following sources: 1, Herberich and Grant (1939); 2, W. A. Hanna (1976); 3, Dall (1980); 4, Inge (1973); 5, Arden and Pluckney (1973); 6, Dibblee (1950); 7, Tarbet (1951); 8, Durham (1950); 9, Woodward (1974); 10, Minch (1967); 11, Beal (1949); 12, Andersen (App. 1); 13, Helm (1922); 14, Milne (1957); 15, Beal (1949); 16, Wilson and Rocha Moreno (1955); 17, McFall (1966).

Fig. 24 (Gastil, 1975)

COSTA PACIFICA

4.2.1 Area di Tijuana (Flynn 1970, Gastil 1975)

-Rosario Beach Formation. E' costituita da basalti, arenarie, argille e depositi piroclastici. La formazione è stata divisa in 5 membri, dello spessore totale di 400m. Nel membro più basso (breccia sedimentaria) sono stati trovati fossili del Miocene medio. Gli altri 4 membri sono formati da basalti con arenarie e argille tufacee. (fig.25)

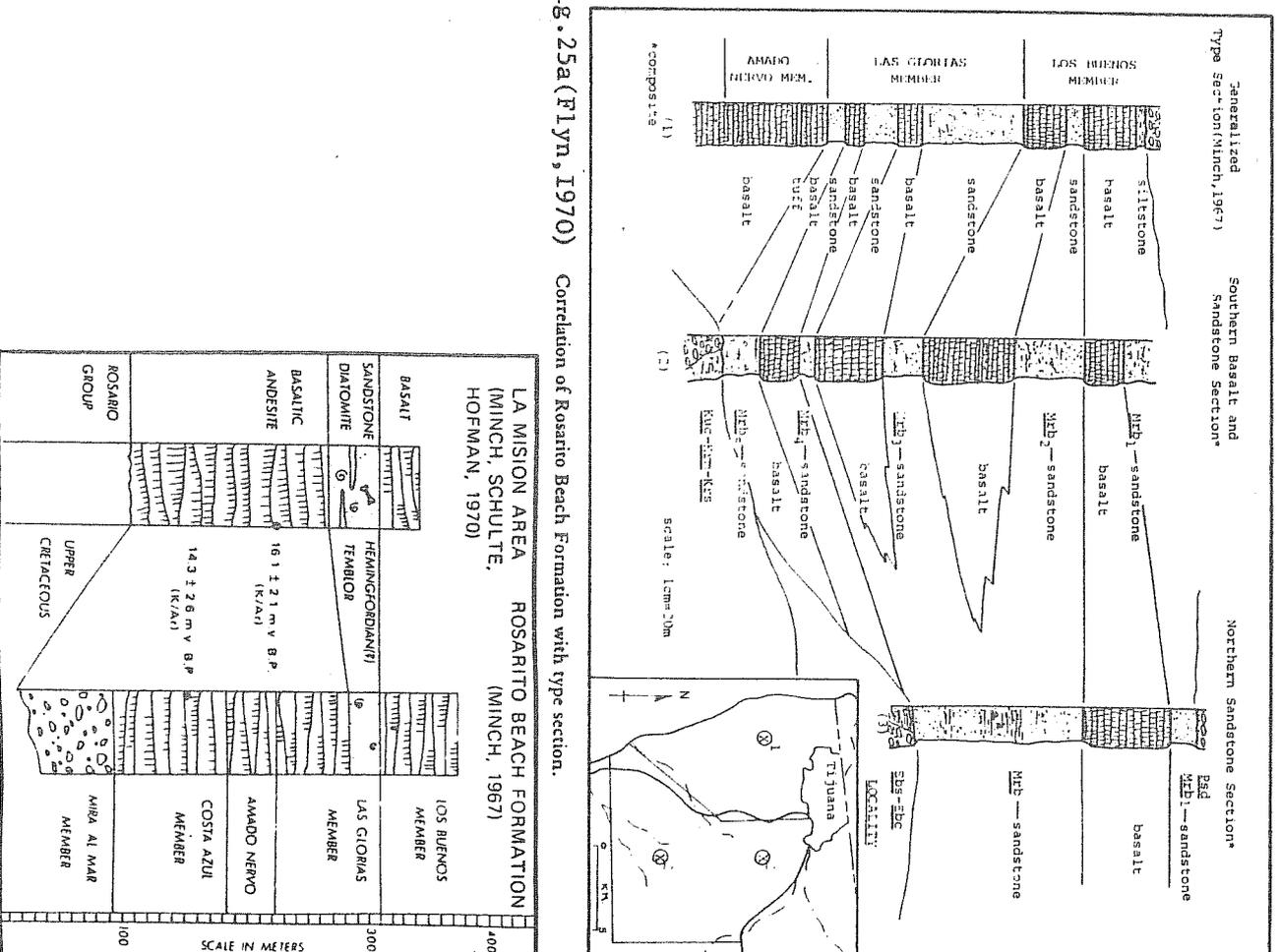


Fig. 25a (Flynn, 1970) Correlation of Rosario Beach Formation with type section.

Fig. 25b (Gastil, 1975)

Correlation of the Miocene sections of La Mision and Rosario Beach, Hemingfordian and Temblor are the vertebrate and invertebrate stages, respectively.

I basalti (16,1-14,3my) aumentano verso SW, mentre a N passano a sedimenti arenacei. Le colate provengono da un'area posta a SW attualmente occupata dal mare. Gli apporti clastici derivano principalmente da E e si sono depositi in ambiente fluviale e lacustre.

La Rosario Beach F. viene correlata a formazioni presenti a N: El Modeno Volcanics, di Orange, California; Conejo Volcanics di Santa Monica e a basalti presenti nel continental borderland.

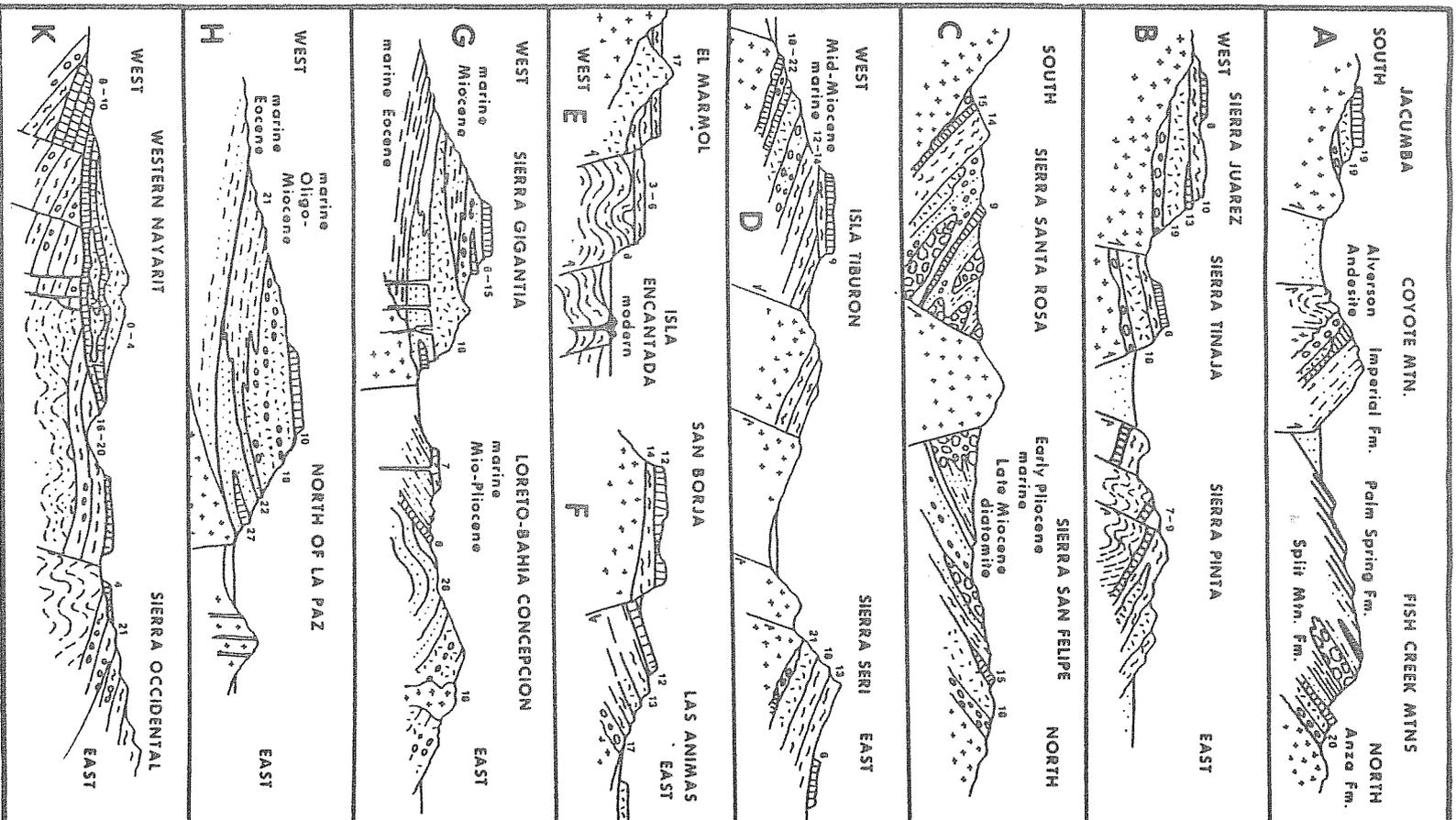


Fig. 27 (Gastil, 1979)

4.2.4 Jacumba

Alla base della serie affiorano i Table Mountain Conglomerates, più antichi di 19my. I clasti provengono dallo Stato di Sonora e sono stati trasportati verso SW attraverso l'area attualmente occupata dalle catene peninsulari, quando la Bassa California faceva ancora parte del Messico.

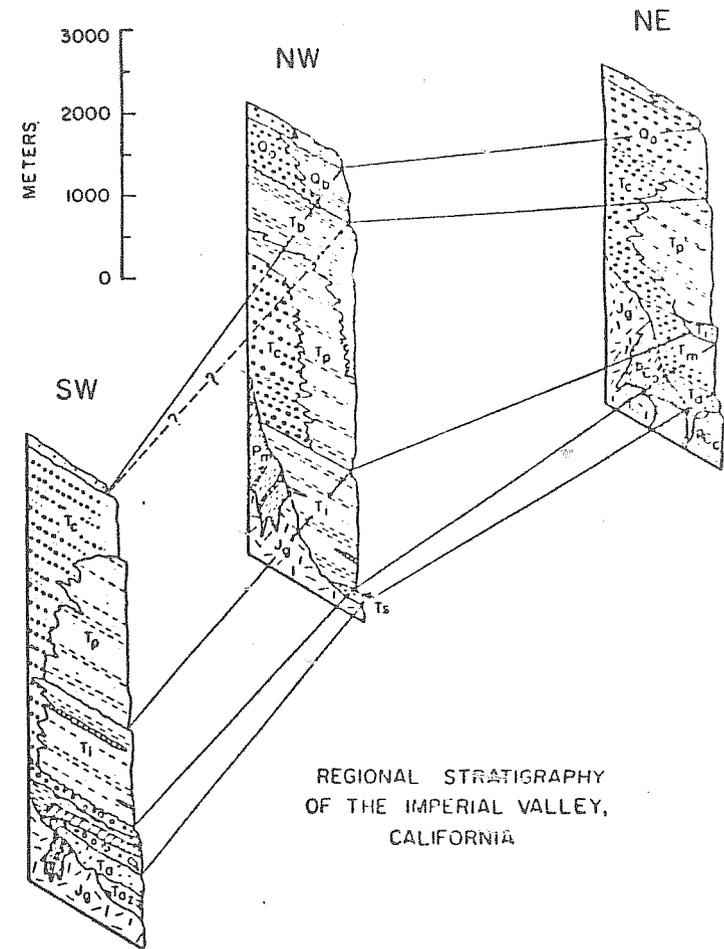
Al di sopra è presente la Jacumba Volcanics, costituita da 100m di breccie vulcaniche (lahar 18,5my) ricoperte da basalti a olivina (18,7my).

La Jacumba può essere seguita lungo tutta la scarpata E della Sierra Juarez. Nella Sierra Cucapas sono presenti 500m di andesiti, e numerosissimi dicchi (15,2my), fig.27. Questa formazione è correlabile alla Comondù F. della parte S della penisola.

FORMATION	
RECENT	Alluvium, Lake Cohuilla Beds
PLEISTOCENE	Ocotillo Conglomerate
	Borrego Formation
	Palm Spring Formation
	Canebrake Conglomerate
PLIOCENE	Imperial Formation
	Split Mountain Formation
	Anzo Formation
	Mecca Formation
MIOCENE	Alverson Andesite
	Dos Palmas Rhyolite
	Granitic Intrusives
PRE-CENOZOIC BEDROCK	Metasedimentary Rocks
	Orocopia Schist
	Chuckwalla Complex

Fig.28

Regional stratigraphy of the Imperial Valley. The fence diagrams represent the true relative thicknesses of the sedimentary formations, and display the regional thickness changes and facies changes of the units. The sections represent three basic regions in the Salton basin: southwestern, northwestern, and northeastern Imperial Valley. The horizontal scale is schematic. Adapted from Dibblee (1954) and Woodward (1974), by Wagoner (1977).

REGIONAL STRATIGRAPHY
OF THE IMPERIAL VALLEY,
CALIFORNIA

4.2.5 Sierra Juarez, Tinaja e Pinta

Nella Sierra Juarez e Tinaja alla base della sequenza cenozoica sono presenti conglomerati e lenti di arenarie discontinui. I clasti (andesite di 57,8my) provengono dallo Stato di Sonora, ma sono differenti da quelli dell'area di Jacumba.

Nella Sierra Juarez al di sopra affiorano lhar andesitici (18,9my), basalti discontinui (13my) ricoperti da un'ignimbrite molto estesa (10my) e da altri basalti isolati (7,9my). Lo spessore è di qualche centinaio di metri.

Nella Sierra Tinaja meridionale affiorano andesiti a pirosseno (19,5-18,3my) intercalate a tufi e prodotti vulcanoclastici. Nella Sierra Pinta del N la serie è più giovane di 10my e possiede una potenza di 4500m. Le rocce sono andesiti e riolitti datate 9,5-8,9my (fig.29)
A S lo spessore è di 1500m.

In quest'ultima le sequenze iniziano sempre con basalti e terminano con riolitti. (fig.27)

4.2.6 Area di San Felipe

A letto affiorano conglomerati cenozoici di provenienza messicana. Un clasto di porfido ha dato un'età di 27my.

Le più antiche rocce vulcaniche della Sierra San Felipe sono andesiti a orneblenda(18-19my). Nella Sierra Santa Clara i conglomerati basali sono ricoperti da un basalto (15my) e da un'ignimbrite (14my).

Sopra vi sono breccie, cenere, una sequenza di arenarie fluviali a stratificazione incrociata, siltiti e conglomerati. La serie include un orizzonte riolitico ricoperto da un basalto di 9my.

Prima dell'emissione di questo basalto si verifica un'importante fase tettonica legata all'impostazione della Provincia "Basin and Range".

Nella colonna stratigrafica questa fase è segnata dall'arrivo di clasti di origine locale (Sierra San Pedro Martir), che si sostituiscono a quelli maturi provenienti dal Messico, ormai isolato dalla formazione del Protogolfo (fig.27,37).

4.2.7 Isola di Tiburon e costa dello Stato di Sonora (Gastil 1979)

Le vulcaniti cenozoiche sono state suddivise in 5 sequenze. La prima è pre-22my. La seconda è compresa tra 22 e 16my ed è andesitico-dacitica. Viene correlata alla Comondù F.

La terza sequenza è formata da conglomerati rossi apparentemente non marini, con cenere e breccie. Nella Parte SW dell'isola di Tiburon affiorano 1000m di conglomerati fossiliferi marini datati 16-12my. La quarta sequenza contiene rocce riolitico-andesitiche (10-12my). La quinta è costituita da basalti e ignimbriti (9-3my).

Le prime 4 serie sono fortemente basculate, mentre la 5ª è molto meno dislocata. (fig.27)

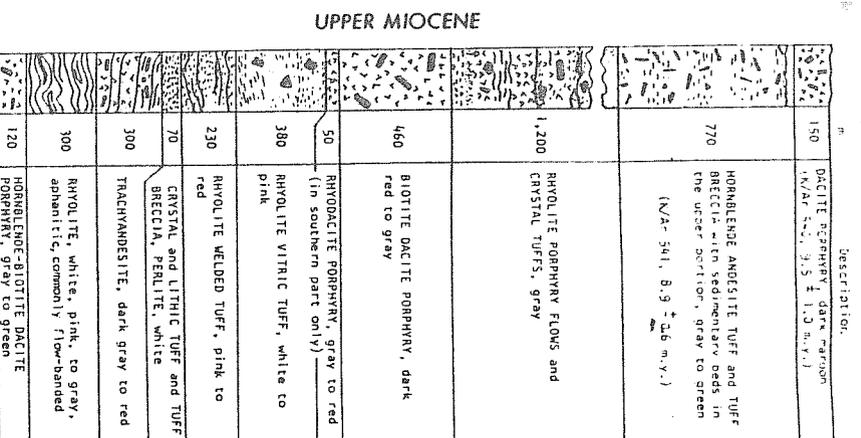


Fig. 29(Gastil, 1975)

4.2.8 Area El Marmol-Isla Encantada

Le rocce più antiche sono rappresentate dalle andesiti del Pico Matomí, che sembra essere il nucleo di un antico centro. Nei pressi di El Marmol si ha un'età di 17my. Al di sopra vi sono 2 sequenze più recenti. La prima è fortemente basculata ed è costituita di Ignimbriti, breccie e prodotti piroclastici andesitici. Lo spessore è di 2000m circa, l'età compresa tra 9 e 8my.

La serie più giovane è suborizzontale (spessore 100m). Contiene lave riolitiche, piroclastiti, pomici e ossidiane (6-3my).(fig.27)

4.2.9 Area di San Borja-Lass Animas

Alla base è presente la lava cenozoica più antica della Bassa California (basalto alcalino, 59my). L'intervallo compreso tra 19 e 17my è rappresentato da piroclastiti acide. Al di sopra la maggior parte dei prodotti è data da rioliti e daciti con andesiti e basalti subordinati (17-14 my). fig.27

Regione del Golfo Settore S

4.2.10 Bassa California meridionale. (Hausback 1984, Sawlan 1984)

-Isidro Formation E' ben esposta sui 2 lati della penisola. A W affiora fino all'altezza di San Ignacio, a E fino a 60 Km a N di Santa Rosalia. E' costituita da arenarie, tuftiti, conglomerati e coquine. Localmente le arenarie assumono colori verde e rosa. Lo spessore varia da 20 a 100-200m.

La deposizione della Isidro F. segna l'inizio del vulcanismo locale in Bassa California alla base del Miocene. Lungo la costa del Golfo a San Juan de la Costa questa F. è composta da 37m di tufi verdi depositisi in acqua, arenarie conglomeratiche, una coquina con Ostreidi e conglomerati intercalati a tufi rosa rimaneggiati.

A W della Sierra Giganta lo spessore della F. è di 15-20m, ed è composta principalmente da conglomerati e arenarie, con Pelecipodi rimaneggiati. Mancano depositi vulcanici primari. Questa unità è stata inclusa nella Comondù F.

Gli affioramenti più settentrionali nei pressi de La Purissima sono composti da arenarie e siltiti tufacee bioturbate giallo-grigie dello spessore di 80m. Pelecipodi e Gasteropodi sono localmente abbondanti. La stratificazione incrociata mostra, come nei depositi più a E, l'azione di forti correnti. I fossili e le strutture sedimentarie indicano acque neritiche, e probabilmente ambiente lagunare. Osservazioni di terreno mostrano eteropie con le facies continentali della base della Comondù.

L'età di questa formazione è stata stabilita in base alla sua posizione stratigrafica.

Nell' Arroyo Sanllario, l'Isidro F. ricopre in discordanza la San Gregorio F. che contiene cenere di 25,5my. A San Juan de la Costa è ricoperta dalla base del Comondù F. datata 21-22my. Nella regione di La Purissima la Isidro F. è posta in discordanza sulla San Gregorio F. datata 23,3my. A Purissima Vieja l'Isidro passa gradualmente nella Comondù F. non marina, contenente basalti di 14,5my. In questo modo sembra che nella regione della Baia di La Paz la Isidro F. sia nel Miocene inferiore con un'età compresa tra 25,4 e 22my, mentre nella regione di La Purissima si è deposita nel Miocene inferiore e medio, tra 23,4 e 14,5my. Il contenuto paleontologico della formazione è stato studiato in dettaglio da Smith (1984).

-Comondù Formation sotto il termine Comondù venivano indicate tutte le vulcaniti cenozoiche presenti nella penisola (Beal 1984). McFall (1966) istituì il Comondù Group, che comprende più formazioni vulcanoclastiche dello spessore totale di oltre 4000m.

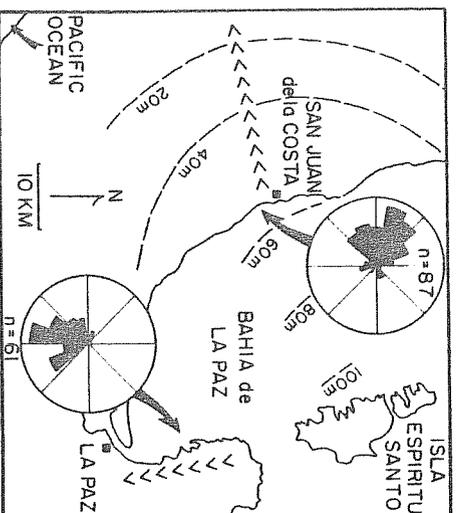
Dal basso: Salto F. (300m di arenarie rosse tufacee a stratificazione incrociata); Pelones F. (1800m di colate e prodotti di esplosione); Minitas F. (150m di conglomerati); Pilares F. (190m di lave basaltiche); Hornillas F. (150m di conglomerati) e Ricason F. (150m di agglomerati, lave e tufi). Attualmente (Hausback, 1984) la Comondú F. include solamente i prodotti derivati dalla catena di strato-vulcani andesitici impostatissi nel Miocene inferiore-medio lungo il lato orientale della penisola.

La formazione ricopre in discordanza la Isidro F., ma in molti punti il passaggio è graduale. E' possibile che le due formazioni siano in parte eterofiche (vedi Isidro F.). Gli affioramenti sono continui da La Paz fino al 28° parallelo. Più a N la si ritrova in modo più o meno discontinuo fino alla California americana e all'Arizona. (vedi Settore N) A W le arenarie distali si assottigliano verso la costa pacifica e spariscono sotto i depositi quaternari. A E è troncata dalla scarpata del Golfo di California. Lo spessore della formazione raggiunge in parecchi punti i 1500m.

-Area di La Paz e Sierra Gigantia (Hausback 1984)E' composta da arenarie e conglomerati vulcanici,ignimbriti riolitiche, lave e lahar andesitici. Le arenarie e i conglomerati sono le facies più abbondanti in questo settore. Sono assenti fossili. La formazione è probabilmente costituita in gran parte da ventagli detritici situati a W di una catena vulcanica disposta grosso modo N-S. Le ignimbriti riolitiche rappresentano il secondo litotipo più diffuso nell'area di La Paz. (75% nell'Isola Espiritu Santo, 20% a San Juan de la Costa).Lo spessore delle varie unità varia da 6 a 77m. Provengono probabilmente da E. Sono generalmente di color rosa, massicce, pomicee e poco rinsaldate con alla base-ceneri di caduta. Il volume originale del magma che ha dato luogo ad una delle unità più potenti (55Km³) è paragonabile a quello dell'eruzione principale che ha formato il Crater Lake nell'Oregon. I lahar formano strati massicci talora tabulari, spessi fino a 40m con clasti monogenici di andesite e iperstene. Le breccie sono probabilmente il prodotto di colate di debris flow vulcanico.

Nella Fig.30 sono indicate le direzioni di trasporto. In conclusione questi materiali venivano trasportati verso W e S da centri presenti lungo la parte E della Bassa California .

Il vulcanismo si è impostato in ambiente marino (Isidro F.), e successivamente sono stati edificati vulcani subaerei e conoidi detritiche allungate verso W. La Comondú mostra una precisa zonazione dei prodotti (Fig.31). Tra Bahia Concepcion e Loreto sono presenti parecchi porfidi andesitici a ornblendea (20-19,4my). Questi litotipi si estendono fino a Punta San Telmo e a Los Dolores. A Pichilingue si trovano lave andesitiche passanti a voluminose breccie monogeniche e alla ignimbrite rinsaldata di La Paz. (Fig.32)



Compilation of Comondú Formation volcanic and sedimentary transport direction data. Rose diagrams determined from pebble imbrication and cross-bedding direction data in the lower Comondú Formation: >>> indicates general fining direction of classic andesitic units; dashed lines are isopleths of the San Juan tuff.

Fig. 30 (Hausback, 1984)

Nell'isola Espiritu Santo sono presenti colate andesitiche e ignimbriti molto più prossime rispetto agli affioramenti di San Juan de la Costa, formati da conglomerati, arenarie e breccie andesitiche. (fig.32)

Più a W la formazione diviene sempre più distale con un forte aumento dei prodotti di rimaneggiamento. Nella regione del Capo la Comondù è completamente assente, probabilmente in seguito ai movimenti avvenuti lungo la faglia di La Paz (fig.31).

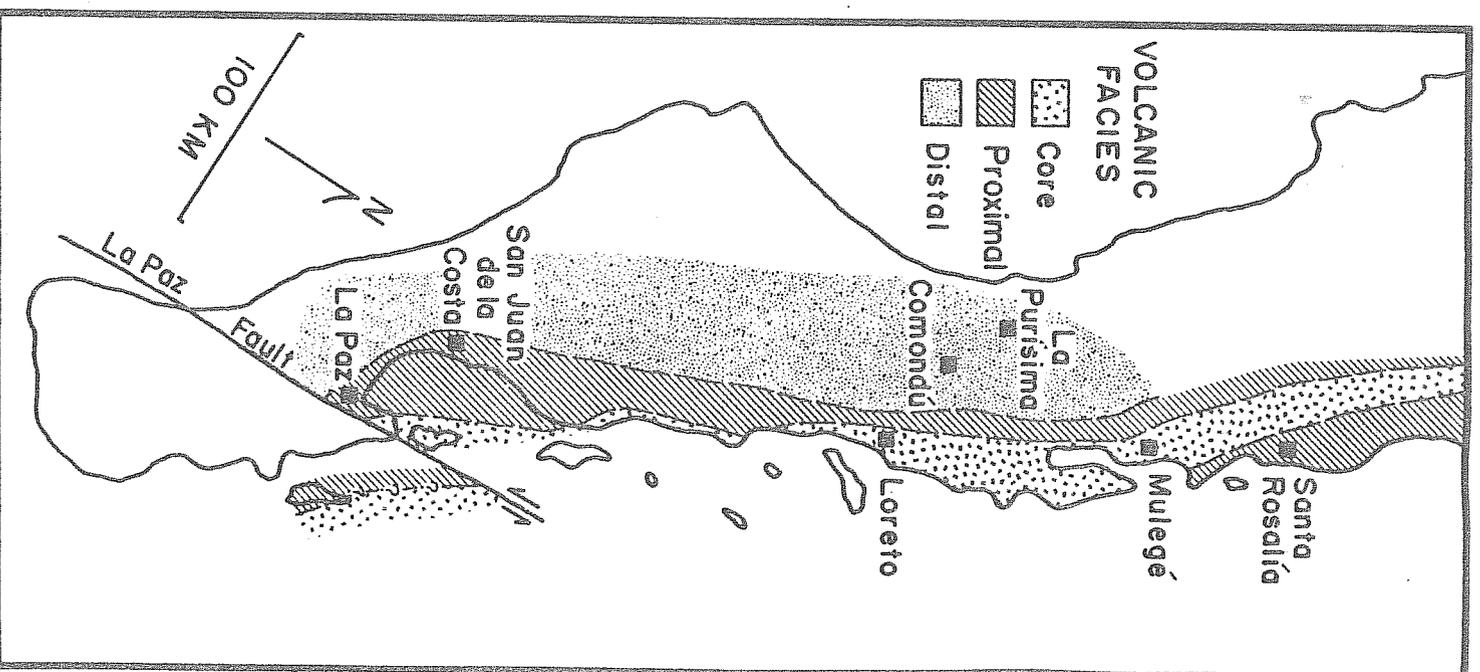
Le datazioni K-Ar indicano per la Comondù 25-14,5my. Le rocce più vecchie costituiscono il membro di Salinas (Area di La Paz).

Nella stessa area il grosso del vulcanismo è compreso tra 25 e 17my. Nel settore N della Bassa California meridionale l'età va da 22,9 a 17my. L'attività può essere probabilmente considerata sincrona in tutta la parte meridionale della penisola, anche se è possibile che a S il vulcanismo sia iniziato uno o due my prima.

La Comondù forma una sequenza variabile tra low-silica andesite e high-silica riolite. (fig.33)

Presso la Bahia di La Paz sono molto abbondanti le rioliti, e scompaiono a N di punta San Marcial.

Ancora più a N è andesitica con ignimbriti riolitiche presenti a E di Bahia Concepcion. A La Paz e a San Juan de la Costa mancano le daciti, in quanto queste si trovano associate agli edifici vulca-



Generalized volcanic facies model of the Comondù Formation in Baja California Sur. Facies designations modified from Vessel and Davies (1981), see text.

Fig.31 (Hausback, 1984)

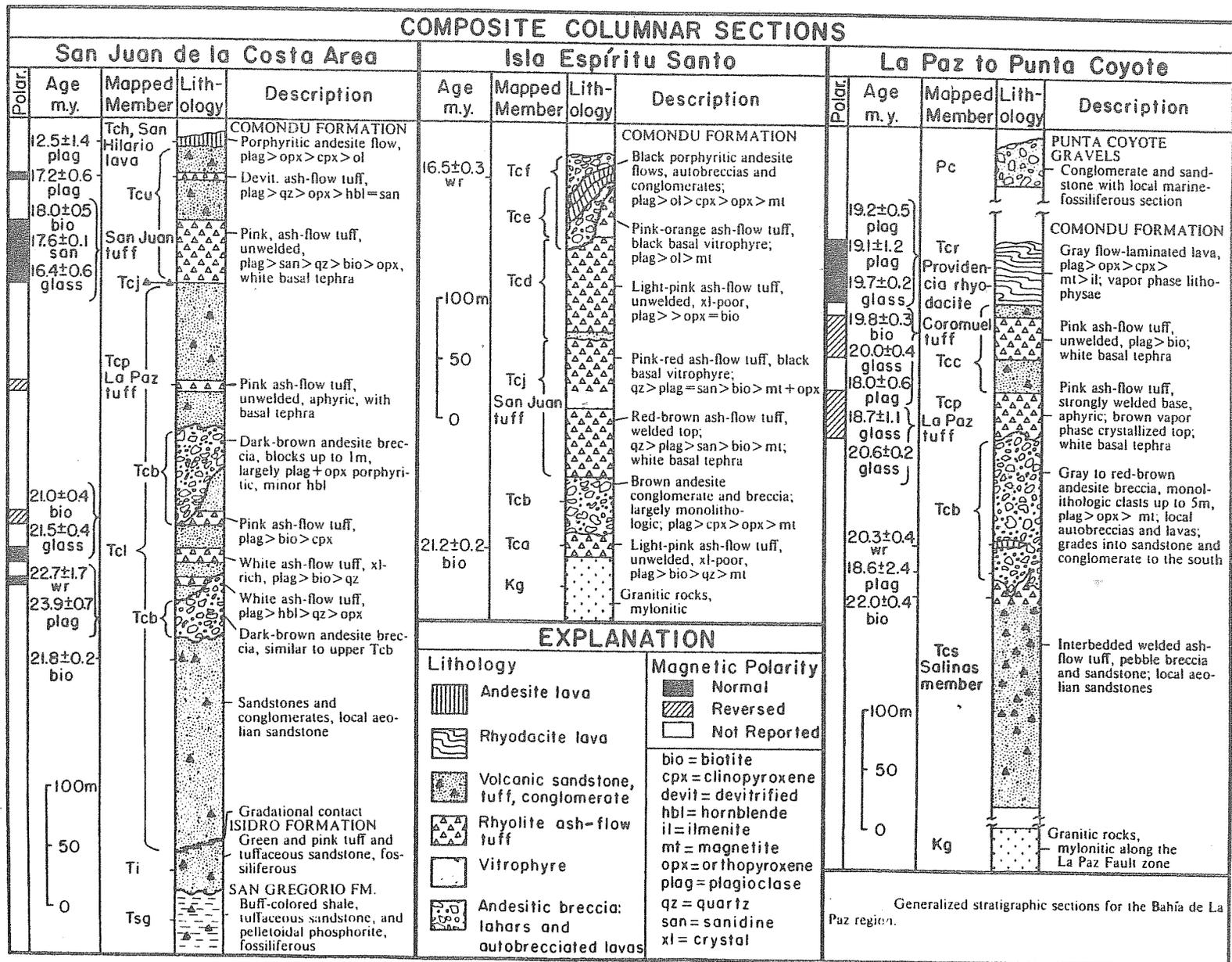


Fig.32(Hausback,1984) Sezioni stratigrafiche della regione di La Paz

nici in forma di colate viscose. Il chimismo, nella zona di La Paz, è tipico degli archi vulcanici continentali. Nel diagramma AFM la Comondù mostra un trend simile a quello dei vulcani delle Cascade che non mostrano arricchimento in Fe.

-Sierra Santa Lucia (Sawlian 1984)

I dati raccolti da Sawlian coincidono con quelli di Hausback. Le osservazioni sono state compiute prevalentemente nella Sierra di Santa Lucia.

L'autore denomina Andesite della Sierra di Santa Lucia i litotipi equivalenti alla Comondù F. di Hausback. (fig.34)

Anche in questo settore viene riconosciuta una facies prossimale, caratterizzata dalla presenza di dicchi, di duomi e di colate di lava. Queste ultime in alcune località possiedono ancora l'originaria inclinazione, dovuta alla messa in posto lungo i fianchi degli stratovulcani miocenici.

Centri di emissione sono stati riconosciuti presso Santa Marta, nella Sierra Santa Lucia, a Santa Rosalia, a Santa Agueda e a Bahía Concepcion.

Venti Km a S di quest'ultima il limite W dei centri coincide con lo spartiacque della penisola. Più a W affiorano prevalentemente sabbie e conglomerati. Nell'area di Loreto le lave sono scarse e predominano le breccie vulcaniche. I centri erano situati probabilmente 60km a E. Anche nella Sierra Santa Lucia il litotipo più diffuso è costituito da una breccia vulcanica, messasi in posto sotto forma di flusso piroclastico. Il trend dei vulcani non è strettamente parallelo né alla penisola né alla scarpata principale del Golfo. Vi sono 2 possibili interpretazioni: 1) l'arco possedeva una direzione (N 45° W) obliqua a quella della penisola (N 30° W); 2) l'arco era diviso in segmenti tra la Sierra San Francisco e la Sierra Santa Lucia e tra Rosarito e Loreto. Tra questi 2 segmenti i vulcani erano paralleli alla penisola, con centri allineati in echelon, spostati successivamente verso E.

Le breccie e le rocce ipoabbissali sono composte da andesite a orneblenda, le colate da andesite a olivina e pirosseno. Le datazioni di Sawlian indicano che l'attività è compresa tra 24 e 11my.

La serie è ritenuta calcoalcalina, con un contenuto medio in K.

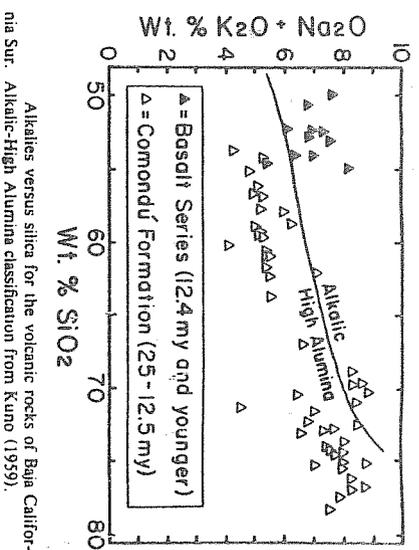


Fig. 33 (Hausback, 1984)

Vulcaniti post-Comondù (Sawlian 1984)

A) di sopra della Comondù F. sono presenti altre rocce vulcaniche, prevalentemente basaltiche, di differente chimismo. Vari autori hanno descritto queste rocce (Gastil 1975, 1979; Hausback 1984).

La prima trattazione sistematica è stata compiuta da Sawlian 1984, che ha riconosciuto la presenza di 3 serie differenti.

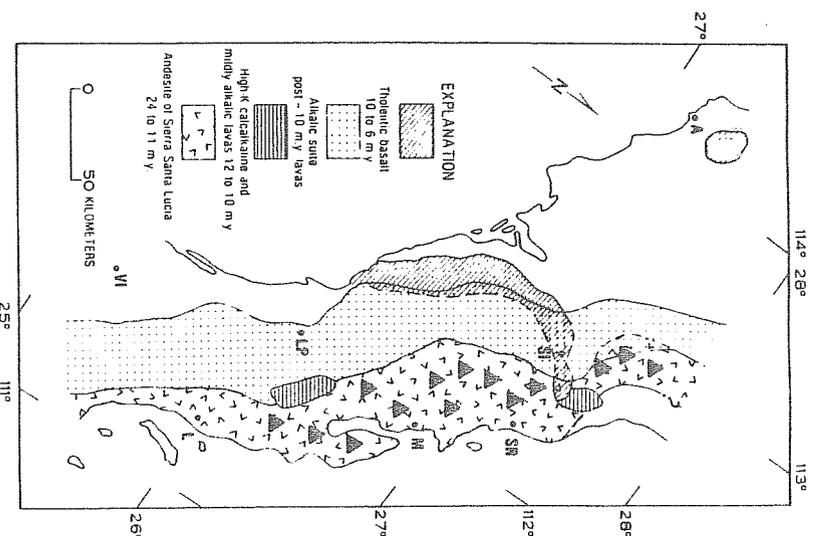
-Rocce calcoalcaline ricche in K e rocce transizionali.

Affiorano nella Sierra San Alberto e lungo la strada Rosarito-La Purissima.

Sono presenti anche in altre aree lungo lo spartiacque della penisola.

Nella prima località la successione è formata da 300m di andesiti a pirosseno ricche in K, ricoperte da 20-30m di ignimbriti poco rinsaldate e da 40m di basalti a olivina subalcalini. Nella parte meridionale della Sierra San Alberto e a Cuesta Las Virgenes le andesiti potassiche sono ricoperte dal basalto Esperanza. Lungo la strada La Purissima-Rosarito sopra le andesiti della Sierra Santa Lucia (Comondù F.) affiorano andesiti (20-50m e andesiti basaltiche (5-10m) ricche in K.

E' presente per lo più una singola colata. La loro modalità di messa in posto è simile a quella delle serie alcaline, mentre la mineralogia dei fenocristalli ricorda le lave calcoalcaline medio potassiche. Il contenuto in K è intermedio tra quello della Comondù F. e quello delle lave alcaline più mafiche. L'età di queste colate è compresa tra 12,5 e 10my. (Fig.34)



Map showing the approximate distribution of Neogene volcanic units in northern Baja California Sur. The area shown for andesite of Sierra Santa Lucia represents nearly continuous occurrence of near-vent facies and primary volcaniclastic deposits. Age-equivalent volcanogenic sediments, not included in this unit, crop out mostly in the stippled area where they underlie alkalic lavas. Triangles schematically represent vent areas. The area shown for alkalic lavas represents discontinuous distribution of these rocks. A few alkalic lavas occur outside this area. Tholeiites also occur on the Concepción peninsula outside the area patterned for this unit. Unpatterned areas are undifferentiated volcanic and nonvolcanic rocks of diverse ages. The area between Anaucción (A) and San Ignacio (SI) includes Neogene volcanic rocks of the Sierra Santa Clara. Other locations: SR, Santa Rosalías; M, Mulegé; L, Loreto; VI, Villa Insurgentes; LP, La Purissima; PP, Punta Pequera.

Fig. 34 (Sawlian, 1984)

-Serie alcalina

Lave alcaline affiorano lungo il versante pacifico della penisola.

A S del 27° parallelo il vulcanismo alcalino è stato continuo fino ad oggi da 11my. Affioramenti isolati sono presenti nella Sierra Santa Lucia e a N di Punta Pequena. I prodotti eruttivi sono rappresentati da coni di scorie costituiti da uno o 2 dicchi centrali, a cui sono associate una o più colate. Le lave sono "aa" vescicolari e colate a blocchi. Tipici sono i condotti dell'area di San Ignacio. Le colate raggiungono lunghezze di 5-10km e ricoprono le mense nell'area La Purissima -Comondù e nella Sierra San Francisco. I centri sono connessi a faglie e in alcune località a Graben. Nella Sierra San Francisco sono associate a un sistema di faglie NW-SE lungo 40km. L'attività più recente di questo settore è di 3my. (colata non fagliata che ricopre il basalto Esperanza fagliato).

Le lave sono generalmente afiriche e ricche in K, Rb, Ba e Sr. Le eruzioni iniziano a 9my. Nel Miocene e nel Pliocene le colate sono ben diffuse tra il 25,5° e il 26,5° parallelo. Più a N questo vulcanismo ebbe vita breve(fig.34).

-Basalto Esperanza (Tholeititi)

E' una sequenza di lave tholeitiche esposte nell'area Tres Virgenes-San Ignacio e lungo la costa pacifica fino a punta Pequena (fig.34). L'area ricoperta è di 2500 km². La maggior parte delle colate è 3-8m di spessore. Possono essere fluite anche per parecchie decine di chilometri.

Sono state emesse da condotti situati a E delle Tres Virgenes, posti probabilmente nell'area attualmente occupata dal Golfo.

Non sono mai stati trovati i dicchi alimentatori. Le osservazioni di terreno indicano che le lave sono fluite da E verso W, attraverso quella che sarebbe divenuta una penisola. Chimicamente sono caratterizzate da basso contenuto in K₂O e alto FeO. Tutti basalti analizzati fanno parte di una serie tholeitica. Sono stati eruttati circa a 10my. Alcune colate connesse a camini locali, sono state ritrovate nella penisola di Vizcaino. (6my)

Prima di questa data risulta quindi inaccettabile un modello che vede il vulcanismo tholeitico associato alla parte centrale del rift e quello alcalino alle parti stabili della penisola.

4.2.11 Mayarrit occidentale e Jalisco Nord-occidentale (Gastil 1979)

Al di sotto dei prodotti plio-quaternari dell'asse vulcanico transmessicano sono presenti 2 sequenze. La prima è composta di rocce da riolitiche a basaltiche (21-13,5my), che appoggiano direttamente sul basamento. In questo settore, infatti, non è presente la sequenza ignimbratica tipica della Sierra Madre Occidental.

Questa serie viene correlata alla Comondù F. della Bassa California e alle rocce coeve della costa W del Sonora.

La seconda, compresa tra Tepic e San Blas è costituita da basalti di 10my. Affioramenti simili a questi sono presenti a SE fino a Punta Raza. Foraminiferi contenuti in alcune intercalazioni arenacee hanno dato come età Miocene superiore. Queste vulcaniti vengono connesse ai primi stadi di distensione del Golfo (fig.27).

4.3

LA FORMAZIONE DEL PROTOGOLFO DI CALIFORNIA (Gastil 1975-1977-1979, Dokka 1982, Colletta 1983, Sawlan 1984)

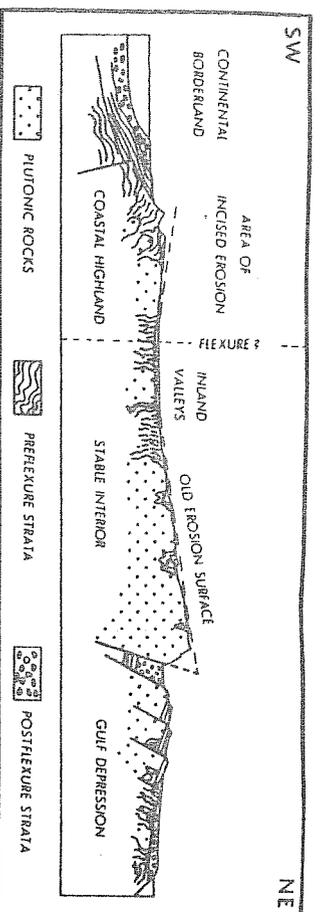
Nel Miocene superiore la parte NW del Messico viene interessata dalla formazione di depressioni subsidenti, allungate N-S e NW-SE (Basin and Range Province). Tra la costa del Sonora e l'attuale penisola di California si imposta una serie di fosse tettoniche invase dal mare, che costituiscono il "Protogolfo" di California. I sedimenti depositi in queste depressioni mostrano una grande variabilità di facies (vedi cap. 4.4), che ben si accordano con un modello di questo tipo.

Nella penisola della Bassa California, a partire da questo periodo, si identificano 3 domini strutturali ben distinti (Colletta 1983):

-Margine pacifico con faglie prevalentemente trascorrenti connesse al sistema San Benito-Tosco-Abrejos.

-Settore continentale pacifico e parte assiale della penisola, formanti un blocco stretto e allungato, molto rigido, senza grosse faglie dopo il Paleocene (questa affermazione deve essere ancora verificata in quanto sono presenti faglie trascorrenti che attraversano la penisola (F. di La Paz, F. di Agua Blanca). Il limite orientale è formata dalla scarpata principale del Golfo.

-Lato orientale della Penisola. E' posta a E della scarpata del Golfo, ed è caratterizzata da una fratturazione molto intensa. Questo settore appartiene interamente alla Provincia "Basin and Range". (fig.9, 35)



Diagrammatic sketch illustrating a suggested relation between the old erosion surface and the coastal highlands.

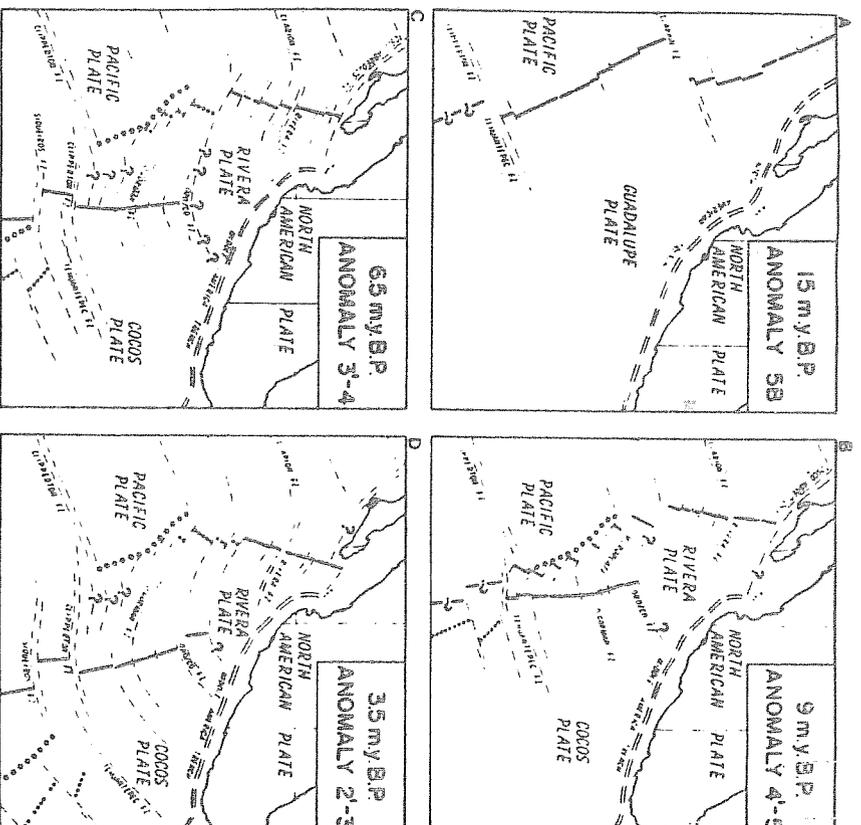
Fig.35(Gastil, 1975)

Generalmente gli autori concordano nel riconoscere 2 principali fasi tettoniche "post-Comondù". La prima è avvenuta intorno a 10-8my ed è responsabile della formazione del Protogolfo, della scarpata principale del Golfo e dell'assetto "Basin and Range" presente nella parte orientale della penisola. Le faglie hanno andamento prevalentemente NW-SE e N-S. Le rocce interessate da queste dislocazioni sono basculate anche di 30° - 40°.

La seconda è iniziata nel Miocene terminale?-Pliocene inferiore ed è dominata da un regime trascorrente, collegato al sistema delle faglie di San Andreas. I sedimenti interessati da queste dislocazioni sono generalmente suborizzontali. Questa fase ha dato luogo all'attuale assetto tettonico del Golfo. In questo capitolo verranno esposti alcuni dati riguardanti la datazione del primo evento. Ricordo che le 2 fasi sono pressappoco coeve a 2 importanti cambiamenti delle direzioni di espansione dell'East Pacific Rise, avvenuti attorno agli 11my e a 6,5my (Klitgord 1982).

Tra i 12,5 e gli 11my si assiste, in corrispondenza dell'anomalia 5a alla frammentazione della placca di Guadalupe nelle 2 placche di Cocos e Rivera, con una riorientazione dell'asse di spreading da NW a NE.

A 6,5my anomalia 3' si verifica un piccolo cambiamento dell'orientazione della dorsale Pacific-Cocos, accompagnato da migrazione verso N della dorsale Rivera-Cocos (fig.36).



Plates and plate boundaries for the eastern equatorial Pacific in magnetic anomaly 5B time (early Miocene) (Figure 12a), anomaly 4-5 time (late Miocene) (Figure 12b), anomaly 3-4 time (early Miocene) (Figure 12c), and anomaly 2-3 time (Pliocene) (Figure 12d).

Fig. 36 (Klitgord, 1982)

Dokka (1982) ha riconosciuto i 2 eventi nell'area di Puertocitos. (fig.37) Il primo si è verificato tra 17 e 9my, ed è postdatato dall'eruzione di rioliti e tufi di 9-8my. La distensione è avvenuto in senso E-W. La direzione delle faglie varia tra N-S e NW-SE: a tratti l'andamento è leggermente curvilineo. Tale fase segna la transizione da un paesaggio caratterizzato da superfici a basso rilievo ad uno dominato da "Basins and Ranges".

L'autore presenta un modello di apertura del Golfo (fig.37), sulla base dei dati acquisiti nell'area di Puertocitos.

Colletta (1983) riconosce la forte discordanza esistente tra i depositi tardo-miocenici-pliocenici e le serie mioceniche, fortemente fagliate e basculate (40°). Le faglie hanno direzione NW-SE e NNW-SSE. Nel bacino di Santa Rosalia è ben esposta la discordanza angolare tra la Boleo F. e la sottostante Comondú F. (fig.38)

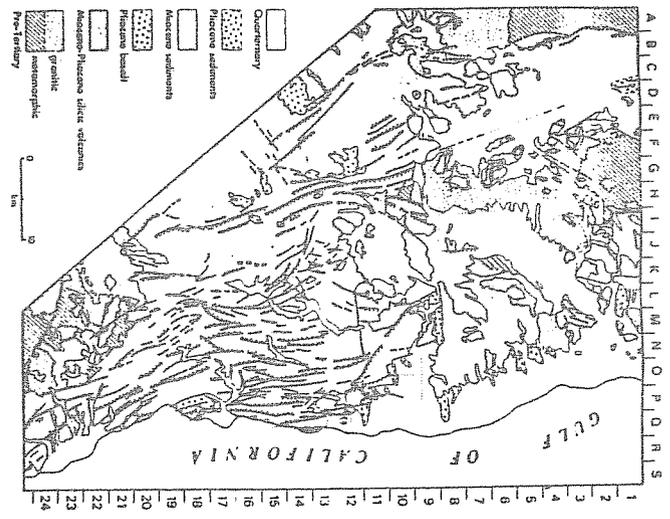
In questa località la fase si è verificata tra gli 8 e i 10my.

Nell'area delle Tres Virgenes il basalto Esperanza (Sawlan 1984) permette di datare la formazione della scarpata principale del Golfo.

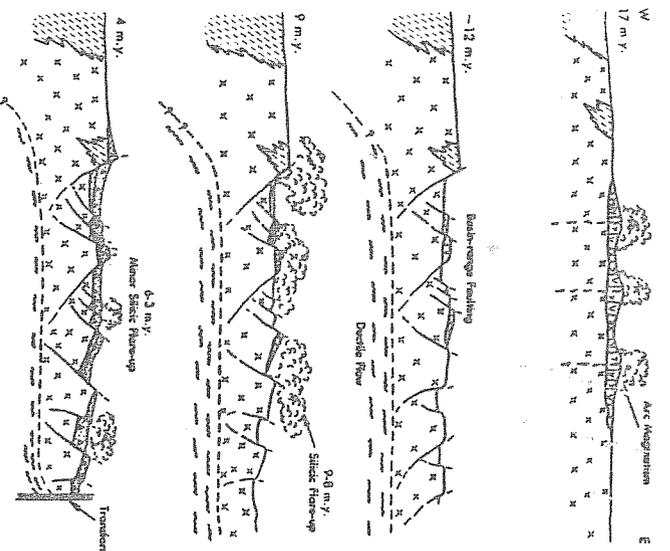
Queste lave tholeitiche (10my) provenivano da una regione situata nei pressi dell'attuale Golfo, ed erano incanalate in un paleo-alveo. La mancanza di depositi fluviali al di sopra delle lave indica secondo l'autore che poco dopo i 10my le zone di alimentazione furono separate da quella che sarebbe presto divenuta una penisola.

Inoltre i dati geochimici dello stesso autore mostrano, attorno a 10my, un forte cambiamento della composizione dei prodotti vulcanici: dalla serie calc-alcalina si passa a basalti alcalini e tholeitici (fig.45).

Gastil (1977) indica che la distensione si è verificata nella costa del Sonora e nell'Isola di Tiburon tra 12 e 8my. Le serie più antiche sono fortemente tettonizzate, mentre quelle più giovani sono generalmente suborizzontali (fig.27).

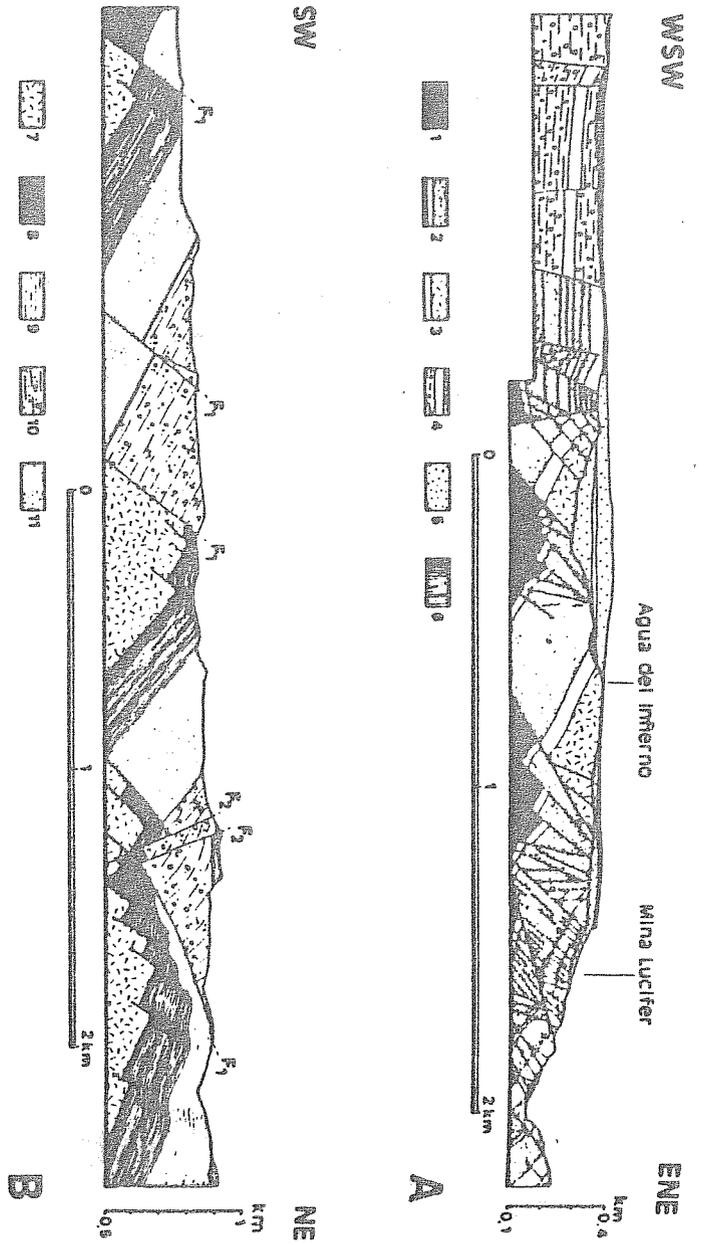


Generalized geologic map of the Puerrecitos area, highlighting structural elements (modified after Casill and others, 1971).



Developmental model of extension of the Puerrecitos normal-fault terrane. Sometime after 17 m.y. ago, extension of upper-crustal levels by high-angle normal faulting began in an area recently affected by early Miocene arc magmatism. Dissection of lower-crustal levels may have been accomplished by ductile flow and intrusion. At 9 m.y. B.P., a blanket of siltic volcanic rocks was deposited across the extending terrane, thereby providing a marker to measure post-9 m.y. tilting and normal faulting. By 4 m.y. B.P., the major phase of dissection of southeastern Baja California was complete or substantially reduced, as evidenced by gentle stratal dips in Mio-Pliocene siltic volcanic rocks. The location of the transform boundary (San Andrea fault system) may have been controlled by the effects (crustal thinning) of the preceding east-west extension.

Fig. 37 (Dokka, 1982)



Coups illustrent la tectonique de blocs basculés et failles liée à l'épisode distensif WSW-ENE du miocène supérieur.

(A) Coupe de l'Arroyo Infierno (Bassin de Santa Rosalia, Basse Californie). (1) Conglomerats andésitiques. (2) Tufts et basaltes. (3) Basaltes. (4) Conglomerats et basaltes. (5) Conglomerats de la Formation Bojío (Miocène terminal). (6) Ignimbrites de la Reforma (Quaternaire). (8) Coupe du district boratifère de Tubutama (Sonora). F₁, faille miocène supérieur; F₂, faille plio-quaternaire. (7) Conglomerats, tufts et andésites (Crétacé supérieur ?). (8) Luttes boratifères et gypsifères. (9) Grès fins et luttes. (10) Conglomerats et grès. (11) Conglomerats peu consolidés plio-quaternaires

Cross-section showing tilting and faulting produced by WSW-ENE extension (Upper Miocene). (A) Cross section of the Infierno River (Santa Rosalia Basin, Baja California). (1) Andesite conglomerates. (2) Tufts and basalts. (3) Basalts, tuffs, conglomerates. (4) Conglomerates and basalts. (5) Conglomerates of the Bojío Formation (Late Miocene). (6) Ignimbrites of the Reforma caldera (Quaternary). (B) Cross section in the Tubutama area (Sonora). F₁, Upper Miocene faults; F₂, Plio-Quaternary faults. (7) Conglomerates, tufts and andesites (Upper Cretaceous ?). (8) Gypsiferous and boratiferous lutites. (9) Sandstones and lutites. (10) Conglomerates and sandstones. (11) Plio-Quaternary conglomerates

Fig. 38 (Colletta, 1983)

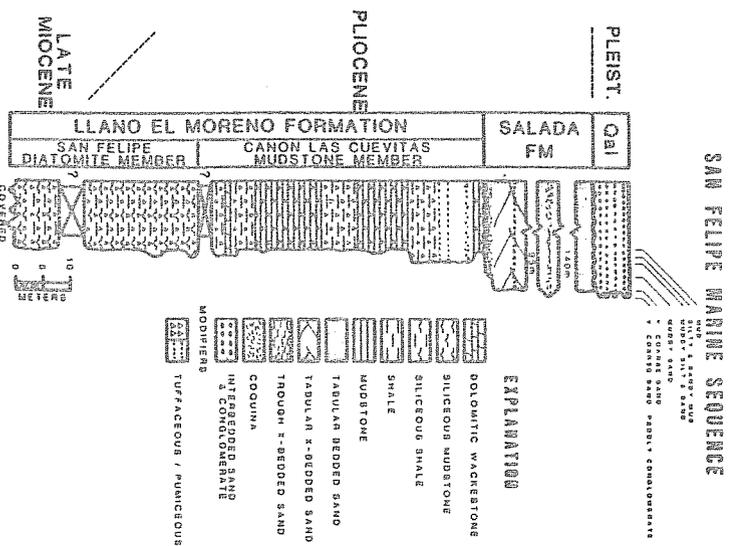
La formazione dei primi bacini marini sembra essere leggermente più tardiva nel settore settentrionale. Nella parte N del Golfo i sedimenti sono generalmente del Miocene terminale (Llano El Moreno F. Gmy, Imperial e Split Mountain F. Miocene terminale, Bojelo e Gloria F. Miocene terminale) Nell'isola di Tiburon e nel settore più meridionale (fossa di San José del Cabo) la sedimentazione marina inizia probabilmente nel Miocene medio, e sicuramente nel Miocene superiore.

Le differenze di età e il diverso grado di tettonizzazione subiti dalle serie vulcaniche e sedimentarie collegate all'apertura del golfo mostrano la complessità degli eventi verificatisi nel corso del Miocene medio-superiore, e probabilmente la presenza di più fasi tettoniche non ancora riconosciute.

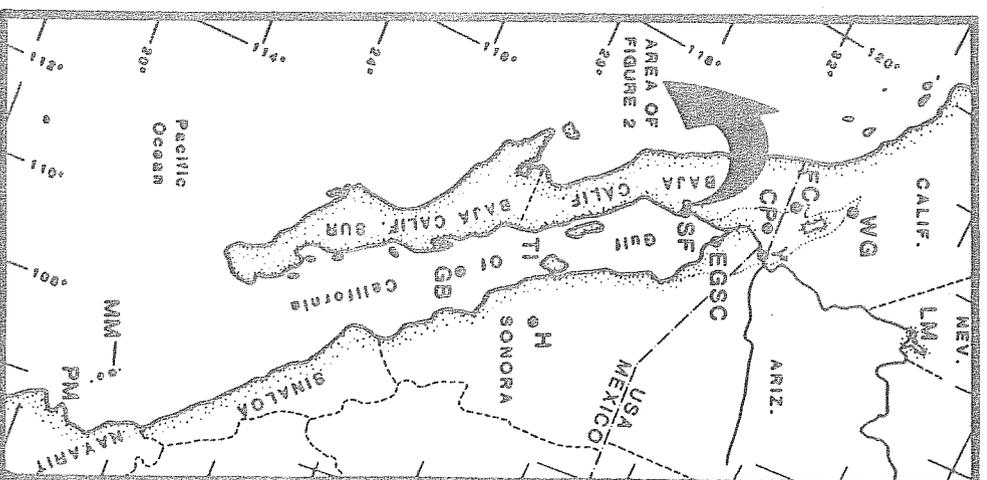
4.4 DEPOSITI MARINI DEL MIOCENE SUPERIORE CONNESSI ALLA FORMAZIONE DEL PROTOGOLFO

Nella fig.39 (Boehm 1984) sono rappresentate alcune località in cui affiorano depositi marini del Miocene superiore testimoniati la presenza di un Protogolfo situato nei pressi di quello attuale. Vengono di seguito descritte le formazioni del Miocene medio-superiore presenti nella penisola della Bassa California e aree adiacenti. (Su questo argomento è stato pubblicato nel 1984 da Ingle un lavoro di fondamentale importanza. Purtroppo si è in possesso solamente del riassunto)

Fig. 39 (Boehms, 1984)



Stratigraphic column for the San Felipe marine sequence, Baja California, Mexico. Stratigraphic position of sample locations is indicated. Composite section is located in Area I of Figure 2.



Index map of the Gulf of California region showing the location of key Gulf marine sections including those at: SF-San Felipe; CLC-Cañon Las Cuevitas; LM-Llano El Moreno; WG-Waguer; EC-El Centro; TI-Tiburon; GB-Guadalupe; OH-Ola Dena; MM-Matamoros; PM-Punta Mita; MA-Matamoros. (after Boehm, 1982).

4.4.1 Area di San Felipe (Boehm 1984)

In quest'area affiorano i primi depositi marini riconosciuti con sicurezza miocenici. La serie di San Felipe (fig.39) è stata fortemente sollevata, basculata e piegata. La formazione basale è denominata Llano El Moreno, ed è divisa in 2 membri.

1° membro inferiore (San Felipe M.) è composto da 30m di diatomiti. Sono presenti 3 sotofacies: 1) diatomiti laminate, 2) diatomiti non laminate, 3) argilliti sottilmente stratificate.

Il membro superiore (Argillite di Canon Las Cuevitas M.) è stato suddiviso in 2 sotofacies: 1) argillite, 2) arenarie argillitiche. Le analisi micropaleontologiche indicano che il letto della formazione ha un'età di 5-5,5my, mentre il tetto giunge fino a 3,4my (Pliocene medio).

Il membro basale si è depositato a profondità medio-battiali, in condizioni anaerobiche, in un bacino paragonabile a quello attuale di San Pedro Martir. In seguito si sono formati degli alti sommersi che hanno anegato il bacino con apporti clastici. Anche l'aumento dell'attività vulcanica e il deterioramento climatico hanno posto fine alla sedimentazione silicea, dando luogo al Las Cuevitas Mudstone M. terrigeno, depositosi nel Pliocene inferiore.

4.4.2

Area di Santa Rosalia

-Boleo Formation E' costituita da 4 unità, dello spessore totale di 250m.

Dal basso verso l'alto: 1) conglomerato continentale con depositi di pendio, 2) orizzonte calcareo con conchiglie marine non riconoscibili, 3) lenti di gesso, 4) alternanza di tufi vulcanici, conglomerati e arenarie.

L'orizzonte calcareo s'è depositato sotto forma di un incrostamento che ricopriva una topografia molto irregolare.

Sono contenuti Fe e Mn di origine idrotermale. Questo orizzonte è paragonabile a quelli in cui si formano i noduli di Fe e Mn nei pressi dei centri di espansione oceanica. Il gesso (spessore massimo 80m) è presente nell'area di Santa Rosalia e sull'isola di San Marco. E' d'origine evaporitica. La formazione è chiaramente posteriore alla Comondú F. e s'è deposita in discordanza in seguito a una forte fase tettonica. Il contenuto paleontologico non permette datazioni precise. L'età di deposizione è compresa tra Miocene terminale e limite Miocene-Pliocene. (fig.38)

-Gloria Formation E' costituita da arenarie marine localmente molto fossilifere, passanti a SW a conglomerati deltaici, litorali e continentali. Lo spessore è di 60m. Contiene una ricca fauna a Pettinidi, Ostreidi ed Echinodermi. La nanofauna ha un'età di 5,6-4,4my. La base è del Miocene terminale o dell'inizio del Pliocene inferiore.(fig.54)

4.4.5 Isola di Tiburón (Gastil 1977, 1979)

In quest'isola affiora una serie conglomeratica fortemente basculata (40°), dello spessore di 1000m, contenente foddilli marini miocenici.

In base alla posizione stratigrafica la serie si è deposita tra 16 e 10 my. (fig.27)

4.4.4

Area di Loreto

-Loreto Formation E' una potente serie marina. La microfauna indica una possibile età miocenica terminale. Alcuni dicchi andesitici che la attraversano sono stati datati 6,7my e confermano quindi un'età del Miocene superiore.

4.4.5

Fossa di San José del Cabo (McCloy 1984)

Dal basso verso l'alto (fig.40):

-Coyote Red Beds E' una sequenza conglomeratica del Miocene Medio?, dello spessore di 400m. L'età è stata ricavata dalla posizione stratigrafica della formazione, che è ricoperta dal membro A della Trinidad Formation (fig.55).

Sono depositi alluvionali, trasportati verso W in seguito alla formazione di una fossa tettonica.

-Trinidad Formation La formazione è suddivisa in 4 unità, dello spessore complessivo di 700-1000m. L'unità A è composta di arenarie di mare basso, siltiti e argille con fossili del Miocene medio?-superiore. L'ambiente è sublitto-rale.
 L'unità B contiene arenarie e argille con strutture derivate dall'azione di correnti trattive (Miocene superiore).
 L'unità C è pliocenica, ed è formata da argilliti, argille diatomitiche e diatomiti. Queste 2 unità si sono deposte lungo la scarpata continentale.
 L'unità D contiene arenarie e argille massiccie del Pliocene, sedimentatesi sulla piattaforma esterna.

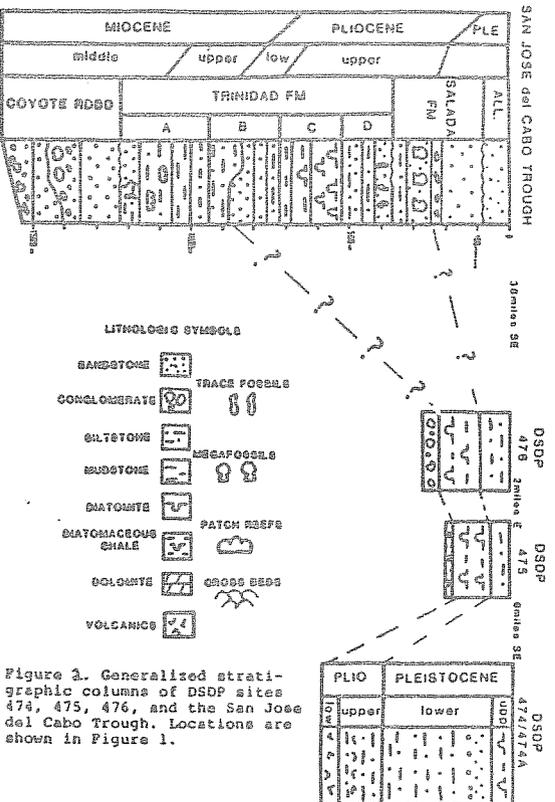
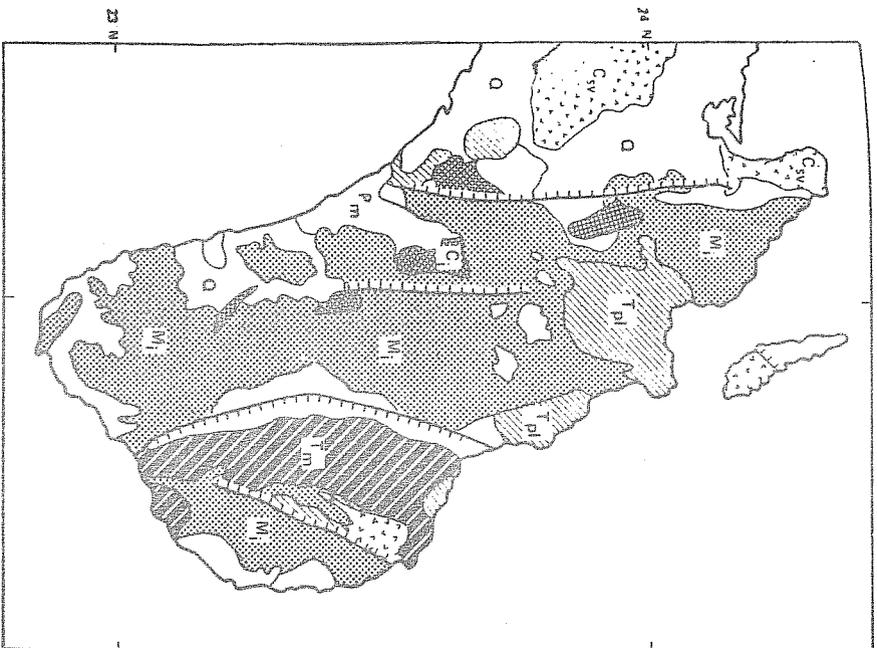
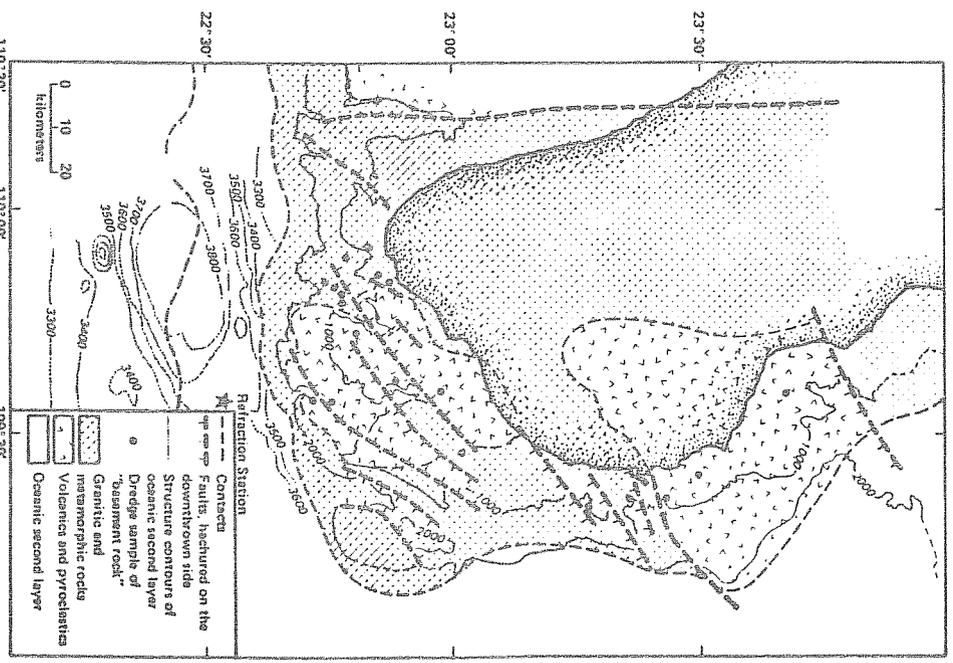


Fig. 40 (McCloy 1984 sopra; Leg 64 sotto)



Simplified geology of the tip of Baja California (after Lopez Ramos, 1976; Q=Quaternary, principally alluvium; T_{pl}=Pliocene coastal alluvium and marine deposits; T_m=upper Miocene marine deposits; C_{3v}=Miocene-to-Recent continental volcanics and pyroclastics, principally Comondú Formation in this area; C₁=Cenozoic intrusives; M₁=Mesozoic intrusives, principally late Cretaceous granite and granodiorite; P_m=Paleozoic meta-sediments and metavolcanics).



Configuration of "basement rocks" with sediments removed (Normark and Curray, 1968, with permission from the Geological Society of America).

4.4.6 Margine continentale della punta della penisola (Leg 64)

Nella località 475 sono presenti, dal basso verso l'alto: conglomerati fluviali con clasti di metavulcaniti, argillilliti fosfatiche-glaucitiche con dolomite micritiche e diatomiti.

Nella località 476 sono presenti, sempre dal basso verso l'alto:

graniti alterati, conglomerati con argille illitiche, argille sabbiose, glauconitiche e argille fosfatiche, diatomiti con torbiditi, glauconiti e cenere vetrose. Si ritiene che i depositi continentali (conglomerati e argille lacustri) siano del Miocene superiore, mentre i soprastanti sedimenti marini sono formate su banchi lontani dalla costa ricoperti da acque poco profonde. In base a questi dati viene proposto un modello di apertura del Golfo, caratterizzato da un assetto a Horst e Graben (fig.41)

I depositi della fossa di San José indicano invece che la formazione di fosse tettoniche ha luogo già nel Miocene medio?-superiore (11,3-5,3my). La Trinidad F. testimonia infatti l'esistenza di una baia poco profonda per tutto il Miocene superiore (11,3-6,5my), con sedimentazione in ambiente profondo dal Miocene Superiore al Pliocene (6,5-3,2my). Viene quindi notevolmente anticipata l'apertura del Golfo rispetto ai dati forniti dal Leg 64.

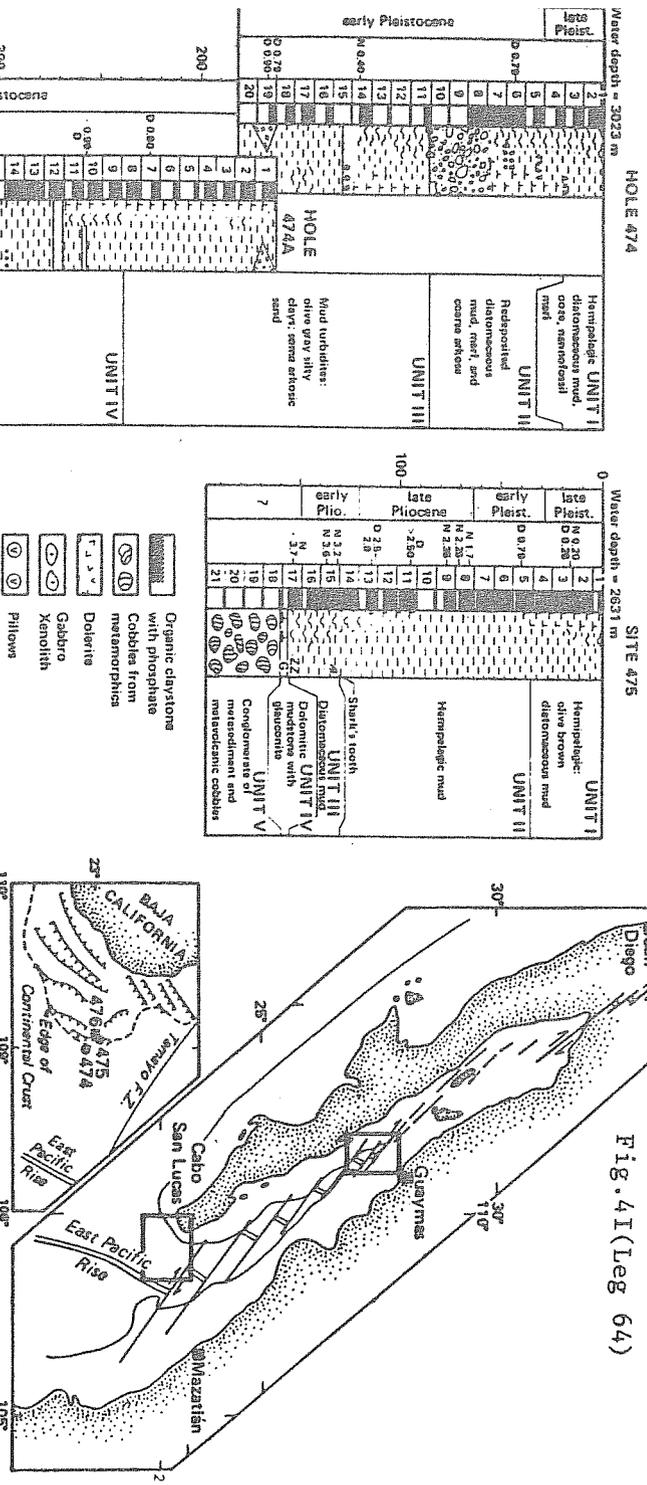
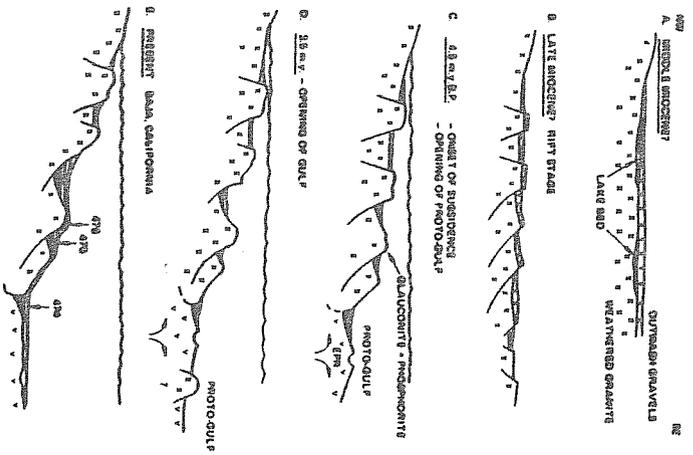
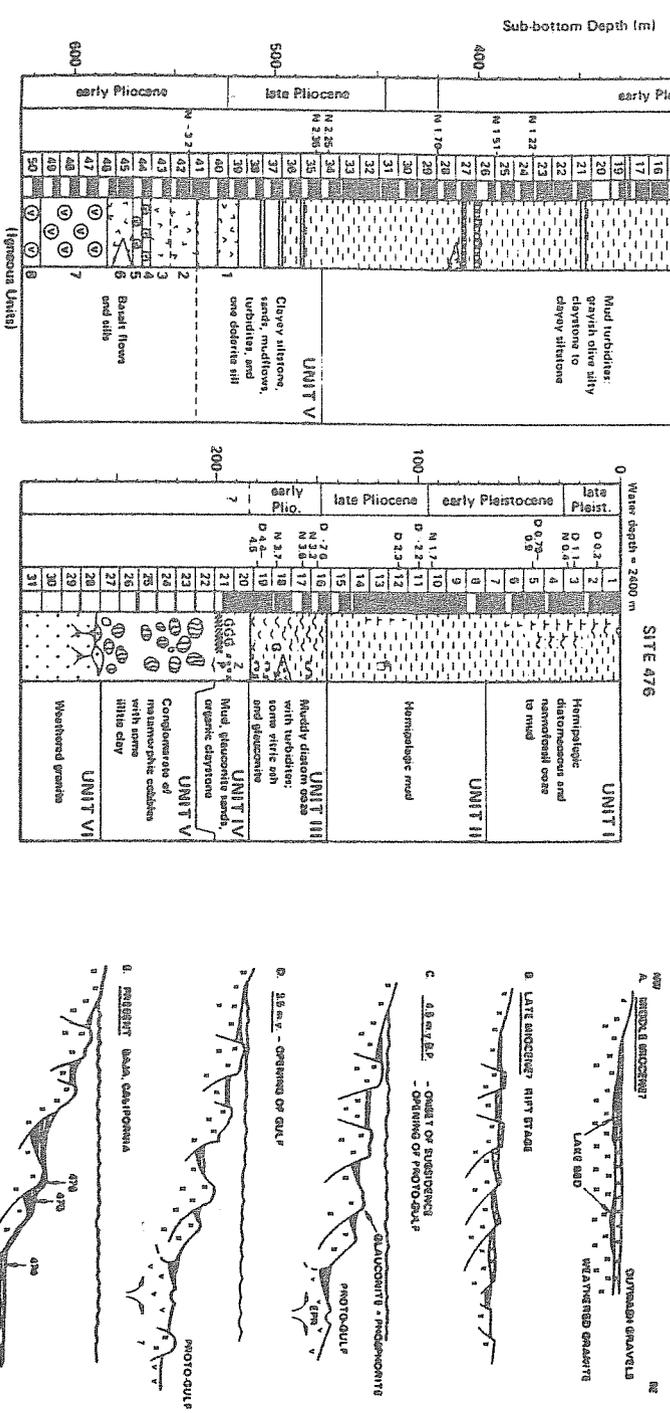


Fig. 41 (Leg 64)



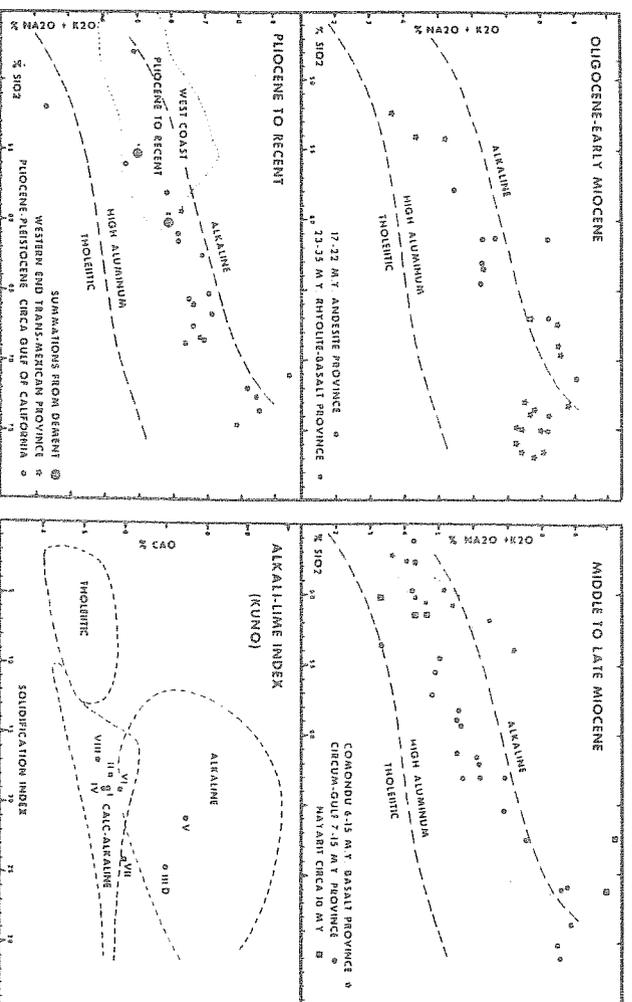
4.5

CHIMISMO DEL VULCANISMO MIOCENICO ED EVOLUZIONE GEODINAMICA

Gastil (1979) presenta una sintesi delle caratteristiche geochimiche dei prodotti vulcanici presenti nella regione del Golfo di California. (fig.42,43) Secondo questo autore tra 22 e 17my si imposta una catena di elevati centri vulcanici da Vallecitos in California (USA) fino alla Bassa California meridionale, includendo anche la costa dello Stato di Sonora. Sono presenti andesiti a orneblenda con rioliti e basalti subordinati. Questa cintura può essere considerata il proseguimento occidentale della Sierra Madre Occidental, ma secondo questo autore vi sono contrasti petrochimici. Nel vulcanismo di 22-17my il litotipo più diffuso è un'andesite a orneblenda con un K index di $6,4 \pm 1,8$ e $CaO=(K_2O+Na_2O)$ di 6,1, tipici di un arco vulcanico andesitico continentale. Secondo il modello di Atwater (1970) l'estinzione della fossa iniziò al largo della California a 28my e raggiunse la punta della penisola a 10my. La subduzione sarebbe terminata all'altezza del settore N della penisola, attorno a 16my. Non è stata comunque osservata un'apprezzabile migrazione di questo vulcanismo verso S.

Tra 14 e 8my vulcaniti di composizione compresa tra low-silica basalt e rioliti furono eruttate nella Sierra Pinta attraverso la parte settentrionale della penisola e dello Stato di Sonora fino a Topolobampo nello stato di Sinaloa. Sono state divise in 3 provincie: 1) a W basalti alcalini (K index $3,4 \pm 1,5$), 2) a E serie basalti - andesiti - rioliti variabili in alcalinità ma prevalentemente calcocalcine, 3) basalti di 10my del Nayarit con K index intermedio. Mineralogicamente queste serie sono diverse da quelle di 22-17my per la mancanza di anfibolo. Le eruzioni di 14-8my, produssero serie di 4000m di potenza aventi uno stretto trend di differenziazione. E' possibile che mentre i basalti alcalini venivano emessi nella penisola che stava migrando a NW, i basalti del Nayarit (10my) venissero eruttati in un'area in distensione legata al Protogolfo.

Il grosso del vulcanismo felsico e intermedio cessò nel Sonora a 10my e a 8my lungo la costa E del Golfo.



The alkalic, high-aluminum, and tholeiitic rock association boundaries are those used by Kuno (1959). The alkalic, calc-alkaline, and tholeiitic field portrayed on Kuno's alkalic-lime index are from the same paper. Under Pliocene to Holocene analyses, summations by Dement (1975) are shown for (1) Paracutin Michoacan, and (2) Tres Virgenes, Baja California. Under alkali-lime index, the volcanic provinces are (I) Pliocene Gulf of California, (II) western end of the Trans-Mexican Volcanic Belt, (III) West Coast Pliocene-Pleistocene, (IV) western Nayarit ~10-my-old volcanic rocks, (V) Comondú Formation and other late Miocene basalt, and (VI) late Miocene volcanic rocks around the Gulf of California, Oligocene-Miocene tholeiitic-basalt province.

Fig. 42 (Gastil, 1979)

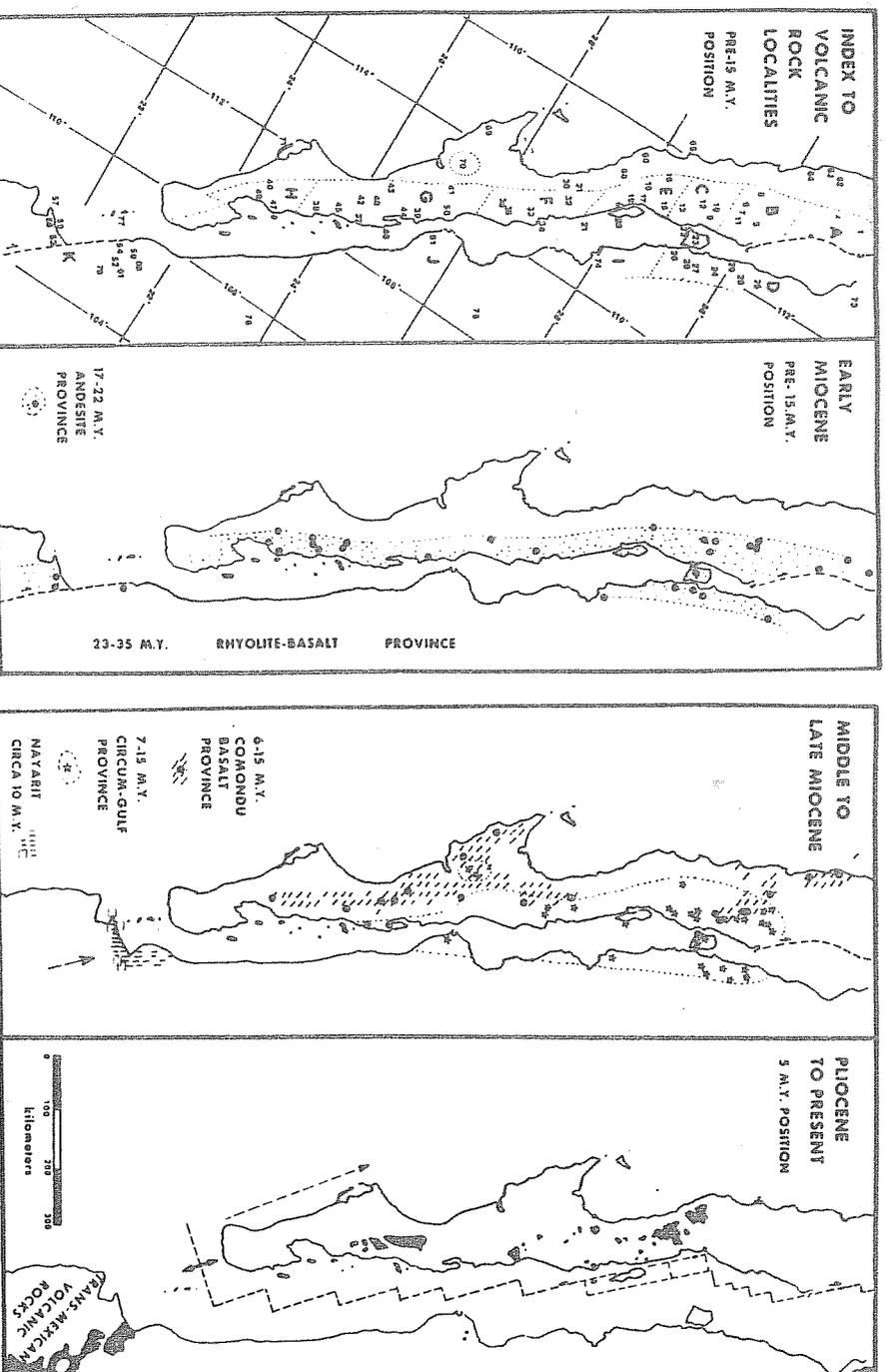


Fig. 43 (Gastil, 1979)

Index to volcanic rock localities: Subareas A through K are shown. See Figure 2 for diagrammatic summaries. Numbered localities within the respective areas are indicated on Tables 1 and 2. Longitude and latitude are corrected for relative displacement of the peninsula relative to Sonora since early Miocene time but are not corrected for latitudinal and longitudinal changes of the plates relative to the geoid. No attempt has been made to reconstruct strike-slip movements within the peninsula. On the Pliocene to Holocene map, the dashed line represents the spreading-transform divergent plate boundary responsible for widening the Gulf of California.

Il lavoro di Sawlan (1984) giunge a conclusioni abbastanza diverse.

L'autore identifica nella Bassa California meridionale 4 differenti serie vulcaniche, distinguibili per la loro petrografia, geochimica, vulcanologia ed età. (fig. 44, 45)

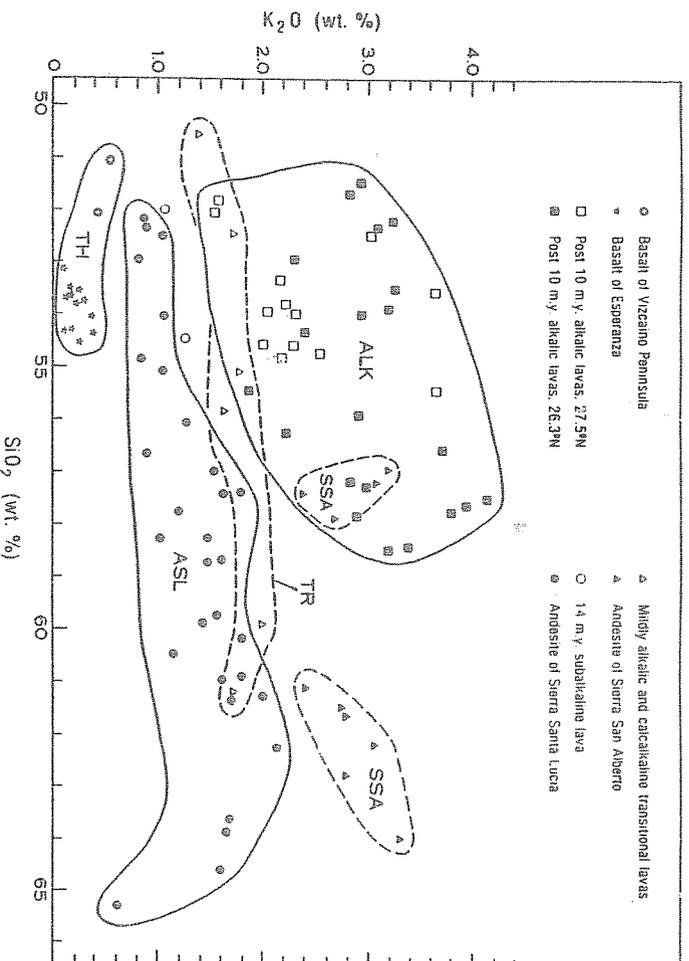
- 1) Andesiti della Sierra di Santa Lucia, calcoalcaline a medio K, 24-11my.
- 2) lave calcoalcaline ad alto K e lave transizionali, 12,5-10my.
- 3) basalto Esperanza, tholeitico, 10my
- 4) lave alcaline, 9-0my

Sawlan lega il chimismo del vulcanismo all'evoluzione geodinamica della penisola.

La subduzione diretta verso E lungo il Messico nord-occidentale, indipendentemente dai dati forniti dal vulcanismo, cessa intorno ai 12my. In seguito il sistema di faglie trascorrenti destrorse di San Benito-Tosco-Abreojos, rimpiazza il margine convergente. Queste faglie divergono il principale luogo di movimento tra la placca Americana e quella Nord-Pacifica fino a 3,5my. (fig. 46a) Da quel momento in poi la trascorrenza si sposta a E della penisola e la Bassa California viene ad appartenere alla Placca pacifica.

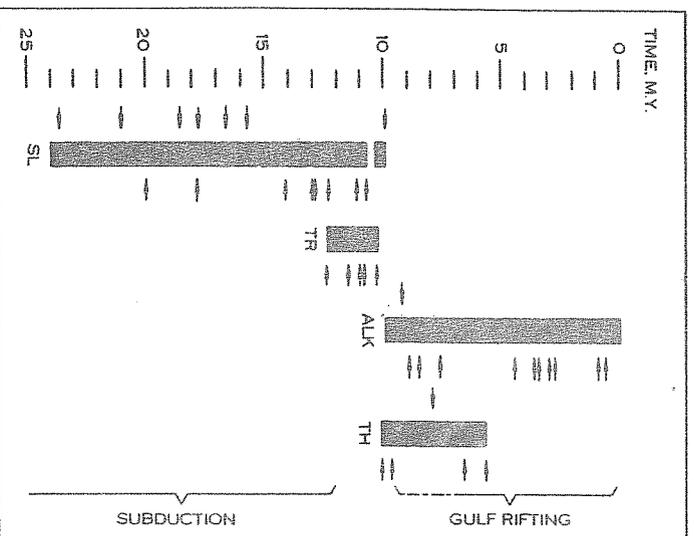
Il trasferimento dei movimenti fu condizionato dalla presenza di un rift oceanico attivo tra 8 e 3my, che si propagò progressivamente in direzione NE a partire dalla bocca del Golfo (fig. 46b). Questo rift provocò una forte attenuazione della crosta continentale del Protogolfo. La distensione in questa area iniziò tra 10my e la fine del Miocene, provocando un assetto a Basin and Range. Secondo questo autore la successiva distensione e la trascorrenza destra furono meno importanti rispetto al primo evento disgiuntivo.

Il voluminoso vulcanismo calcoalcalino medio-potassico è stato grossomodo coevo con la subduzione, ed è cessato 1 o 2my dopo la fine di questa. Le serie



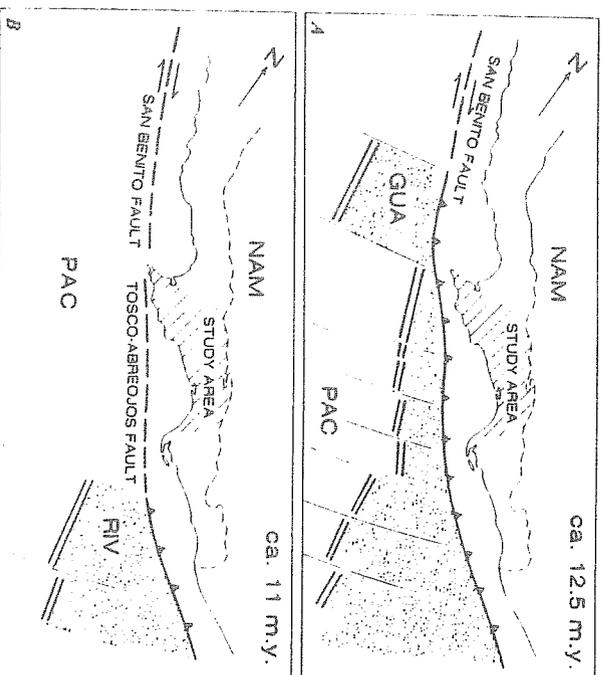
Plot of K_2O versus SiO_2 , based on oxide sums normalized to 100 percent on a volatile-free basis. The three fields enclosed by solid lines represent ranges of the calcalkaline andesite of Sierra Santa Lucia (ASL), alkalic lavas (ALK), and tholeiitic lavas (TH). Fields enclosed by dashed lines include 12 to 10 m.y. andesite of Sierra San Alberto (SSA), and 12 to 10 m.y. mildly alkalic lavas and medium- to high-K calc-alkaline andesite (TR).

Fig. 44 (Sawlian, 1984)



Duration of Neogene volcanic activity in northern Baja California Sur. Abbreviations: SL, medium-K calcalkaline andesite of Sierra Santa Lucia; TR, high-K calcalkaline andesite and mildly alkalic transitional lava, includes andesite of Sierra San Alberto; ALK, alkalic suite; TH, tholeiitic lavas. Arrows to the right of each time line represent K-Ar ages reported in this study. Arrows to the left of each time line represent selected ages from Gaspill and others (1979), recalculated using the constants of Steiger and Jäger (1977). Duration of subduction and rifting is represented by brackets.

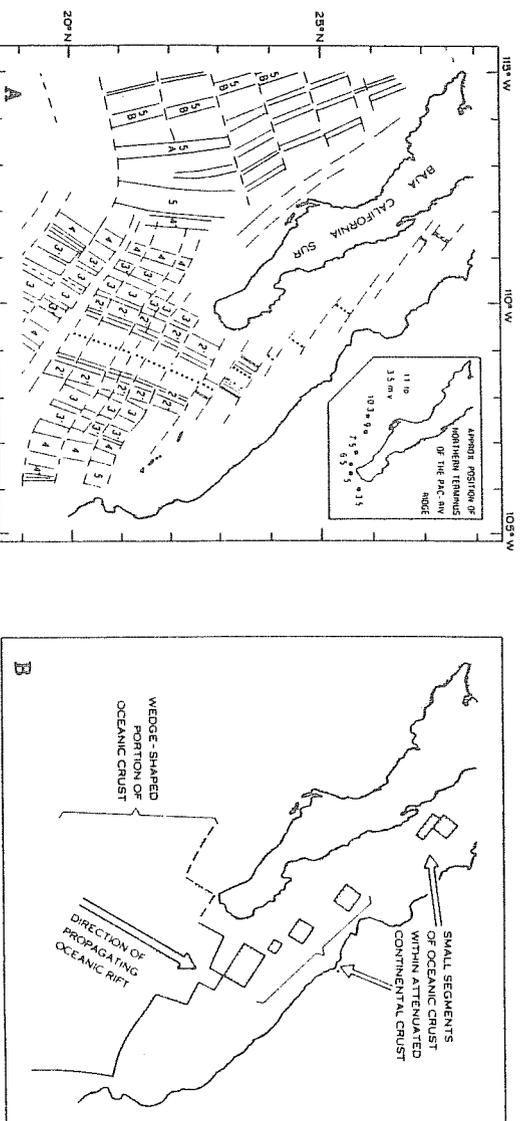
Fig. 45 (Sawlian, 1984)



Tectonic models for the Baja California peninsula at approximately 12.5 m.y. (fig. 6a) and 11 m.y. (fig. 6b). Double bars, spreading ridges; light solid lines between spreading ridges, transform faults; hatched line, convergent plate boundary. Wedges point toward upper plate; heavy dashed line, transcurrent faults; Abbreviations for plate names: PAC, Pacific; NAM, North America; GUA, Guadalupe; RIV, Rivera plate. Oceanic plate names follow conventions used in Mammerickx and Kiltford (1982). Plate reconstructions are based on data reported in Kiltford and Mammerickx (1982).

Fig. 46a (Sawlian, 1984)

calcoalcaline alto-potassiche e quelle transizionali furono emesse nello intervallo tra la subduzione e il processo di rifting, e si sovrappongono in parte all'attività precedente. Attorno ai 10 my il vulcanismo basaltico si sostituisce a quello andesitico. Questo cambiamento è avvenuto in tutti gli Stati Uniti Occidentali. L'emissione di prodotti fortemente alcalini e di quelli tholeitici meno abbondanti inizia simultaneamente verso i 10my, contemporaneamente all'impostazione del rift del Protogolfo.



Selected ocean floor magnetic anomalies along Baja California Sur (adapted from Klitzberg and Mammertx (1982)). Dotted lines represent active spreading ridges. Inset shows positions of the northern remains of the Pacific-Rivera ridge from the time of anomaly 5 to anomaly 2. Numbers indicate ages in millions of years. Magnetic anomalies show that this ridge had an azimuth approximately perpendicular to the peninsula and that this ridge abutted a short segment of the continental margin from about 7.5 to 3.5 m.y. ago. (b) Schematic interpretation of the magnetic anomaly pattern of figure 7a in terms of a propagating rift. Oceanic crust in the mouth of the Gulf of California older than about 2 m.y. was produced as a result of the propagating rift. Oceanic basins throughout the Gulf region are pull-apart basins unrelated to the propagating rift and were produced by translational tectonics which acted simultaneously on the entire Gulf.

Fig. 46b (Sawlan, 1984)

In analogia anche nel rift del Rio Grande (USA) le 2 serie sono comparse contemporaneamente. Il vulcanismo tholeitico cessò nella penisola a 6my, mentre quello alcalino, molto più abbondante, è stato continuo fino all'Olocene.

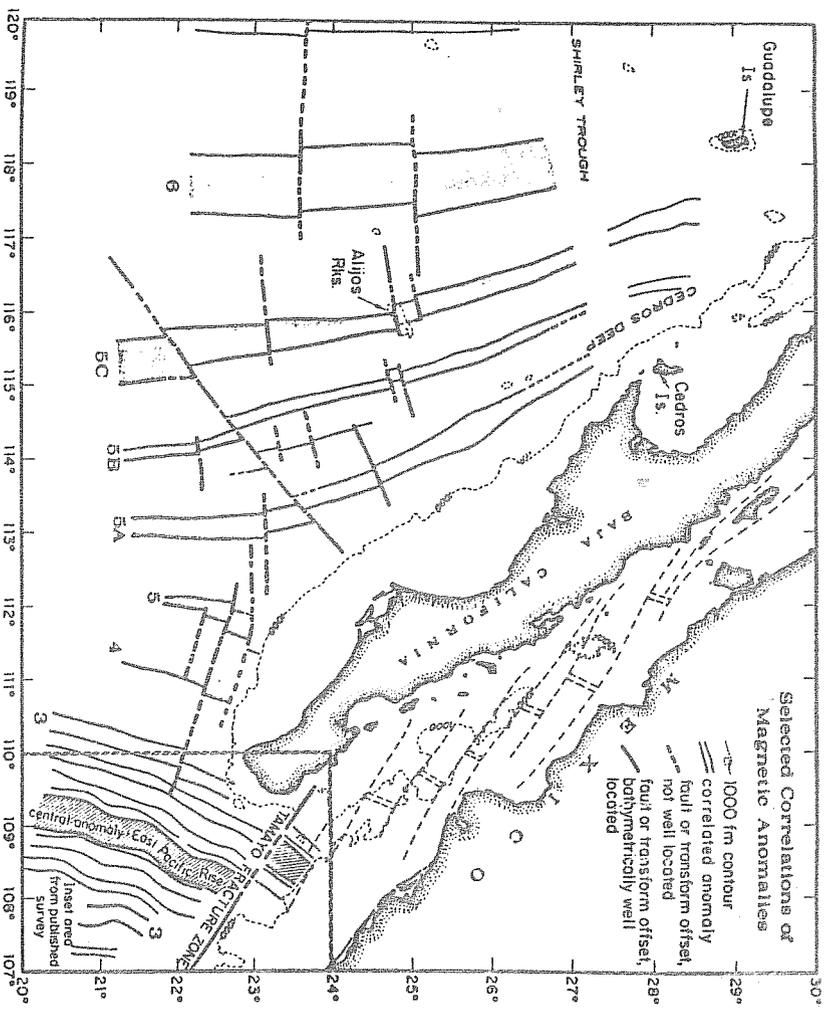
Secondo questo modello la Comondú F. rappresenta quindi un arco vulcanico sviluppatosi su crosta continentale, connesso con una zona di subduzione miocenica situata al largo del continental borderland.

La presenza di anomalie magnetiche assimetriche di questa età (fig.46b, 47) e il chimismo calcoalcalino dei prodotti dell'arco costituiscono le uniche prove di tale situazione.

E' importante ricordare che non sono mai stati ritrovati complessi di subduzione miocenici, e che le rocce del presunto intervallo arco-fossa non mostrano deformazioni di tipo compressivo.

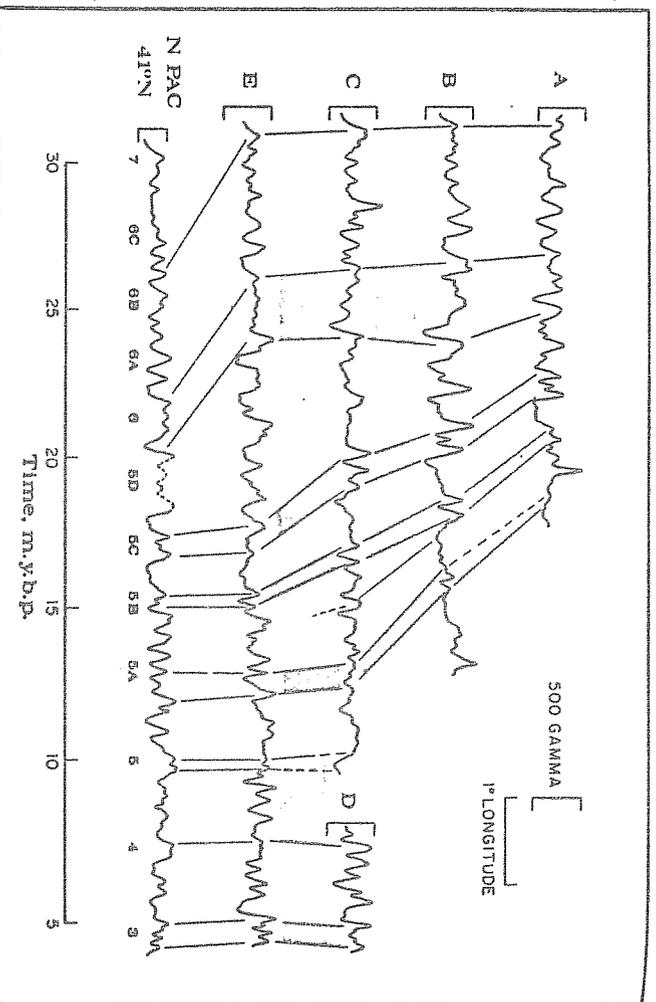
L'evoluzione geodinamica precedentemente illustrata resta pertanto un'ipotesi, in quanto le conoscenze acquisite sono ancora insufficienti per una conferma. Non sono ancora stati ben esaminati i rapporti esistenti tra le strutture orogeniche mesozoiche e quelle neogeniche.

Come ricordato nell'introduzione, sia il vulcanismo calcoalcalino della Comondú F. che il Protogolfo e il successivo Golfo si impostano grossomodo lungo una fascia che mette a contatto 2 provincie strutturali con caratteristiche molto differenti, definitesi probabilmente già nel corso del Paleozoico (fig.48). Il settore 4a è costituito da depositi vulcanici e vulcanoclastici del Paleozoico superiore e del Mesozoico, intrusi da graniti a medio contenuto in K del Giurassico e del Cretacico inferiore. Il settore 4b contiene invece metacarbonati e quarziti del Paleozoico inferiore-medio, intrusi da graniti poveri di K del Cretacico superiore. Non sono stati ancora chiari-



Anomaly bands identified in Figure 3 plotted in map view, with anomaly numbers. The faults shown are discussed in the text. Magnetic anomaly correlations in inset area are after Larson and others (1968). Medium weight dashed lines in Gulf represent transform faults (single lines) and postulated spreading centers (double) from Moore and Buffington (1968, Fig. 4).

Fig. 47 (Chase, 1970)



Selected profiles, with standard North Pacific profile, and Hartzler and others (1968) numbering system and time scale. Light vertical lines connect correlated anomalies. Gray areas define particular anomaly bands. Profiles are plotted with Mercator projection scale distortion.

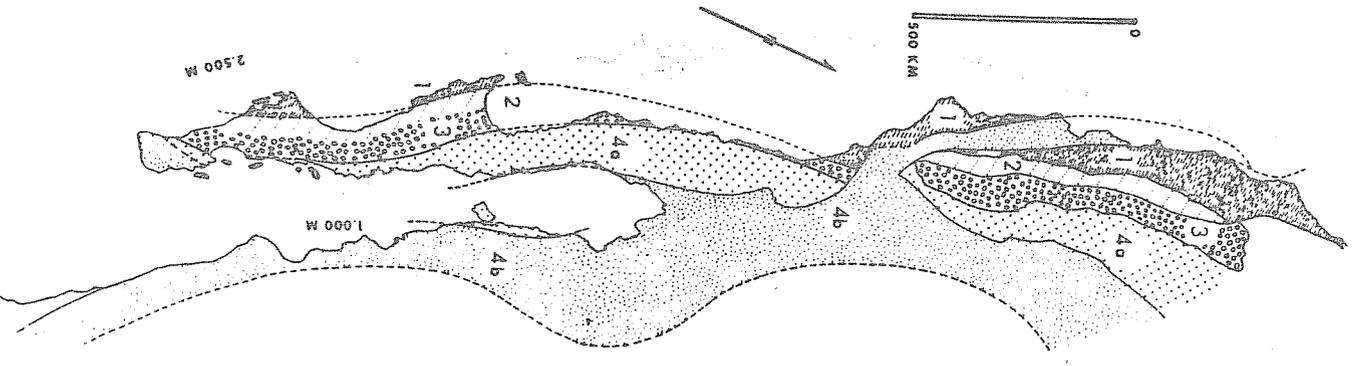
ti neppure i rapporti strutturali, chiaramente esistenti (Gastil 1975), tra il vulcanismo del Golfo, iniziato perlomeno a 28my, e la successiva apertura di quest'ultimo.

Inoltre la distanza arco-fossa, supponendo che la fossa fosse posta all'esterno dei complessi di subduzione mesozoici e che l'arco vulcanico giacesse nel Golfo, è superiore ai 300km, e risulta quindi perlomeno atipica.

Secondo Dickinson (1979), infatti, l'intervallo menzionato è solitamente compreso tra i 100 e i 150 km.

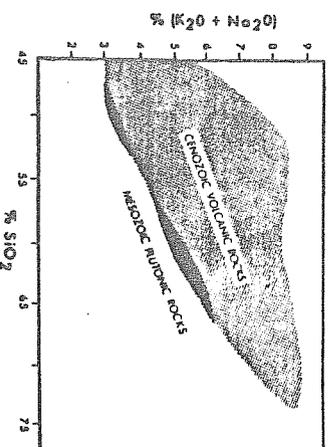
Come ipotesi di lavoro si potrebbe pensare che il vulcanismo della Comondù F. sia legato ai primi stadi di formazione di un rift continentale, collegato alla distensione della Provincia Basin and Range, evoluto successivamente in un limite tra placche di tipo transtensivo.

Il carattere calcoalcalino dei magmi, che hanno dato luogo agli stratovulcani andesitici, potrebbe essere ancora legato all'orogenesi mesozoica, piuttosto che a un rinnovato regime compressivo (fig.49).



Structural framework of California, U.S.A., and Baja California. 1, Franciscan assemblage; 2, thick fill of the older Great Valley sequence; 3, thick fill of younger Great Valley sequence; 4a, Mesozoic-Paleozoic volcanic-volcaniclastic strata intruded by potassium-poor plutons; 4b, Paleozoic carbonate and quartzite strata intruded by relatively potassium-rich plutons.

Fig. 48 (Gastil, 1975)



Comparison of $(K_2O + Na_2O)/SiO_2$ ratios for Cenozoic volcanic and Mesozoic plutonic rocks from the Peninsular Ranges.

Fig. 49 (Gastil, 1975)

5) PLIOCENE5.1 INTRODUZIONE

Nel Pliocene la penisola della Bassa California ha ormai assunto gran parte della sua odierna configurazione geografica (fig.50).

La costa pacifica è molto prossima a quella attuale. A W nel continental borderland si formano bacini e dorsali parzialmente sommerse, che danno luogo ad alcune isole.

Il Golfo è invece più esteso di oggi, e si spinge a N fino ai piedi delle catene trasversali della California (USA) per una lunghezza complessiva di 1800 Km.

Al passaggio tra Miocene e Pliocene si definisce un nuovo assetto tettonico di tipo "transtensivo", caratterizzato da movimenti trascorrenti destrorsi, che avvengono lungo faglie a direzione NW-SE (Azimut compreso tra 120° e 145°), in parte ereditate dalla precedente fase distensiva miocenica "Basin and Range". A queste si accompagnano faglie normali orientate N-S. (Colleita 1983) Contemporaneamente nell'area del Golfo si assiste alla formazione di crosta oceanica in piccoli bacini di tipo pull-apart collegati da faglie trasformi, e più diffusamente lungo l'East Pacific Rise presso la bocca del Golfo, con sviluppo di una crosta con fasce di anomalie magnetiche simmetriche. Queste ultime mostrano che la penisola si è spostata verso NW, rispetto alla placca Nord-Americana di circa 260 Km, a partire da 3,5my.

I movimenti si sono probabilmente ripartiti in un reticolo di faglie trascorrenti esteso dalla zona del Golfo fino all'interno dello Stato di Sonora (Gastil 1977).

Dal Pliocene in poi la Bassa California viene ad appartenere alla Placca pacifica, con la quale si sposta verso N lungo una zona di "shear" estesa dal Golfo di California fino a N di Los Angeles.

I sedimenti marini presenti lungo le coste pacifiche e lungo quelle del Golfo sono generalmente di ambiente sublitorale. In alcuni settori si hanno depositi batiali (San Felipe).

Le successioni della base del Pliocene sono generalmente concordanti con quelle del Miocene superiore (San Felipe, Fossa di S.Josè del Cabo), mentre una discordanza angolare le separa da quelle del Pliocene medio-superiore.

Alla luce delle attuali conoscenze risultano ancora poco chiari i rapporti sia paleogeografici che strutturali tra le sequenze sedimentarie legate al Protogolfo e quelle formatesi nel successivo Golfo plio-quadernario.

Il vulcanismo pliocenico presente all'interno del Golfo (Leg 64) è tholeitico. Sulla penisola vengono emessi basalti alcalini per tutto il Pliocene, principalmente lungo il settore pacifico.

Inoltre nella Sierra della Reforma si ha attività calcoalcalina, che proseguirà, sia qui che nella limitrofa area delle Tres Virgenes fino all'Olocene.

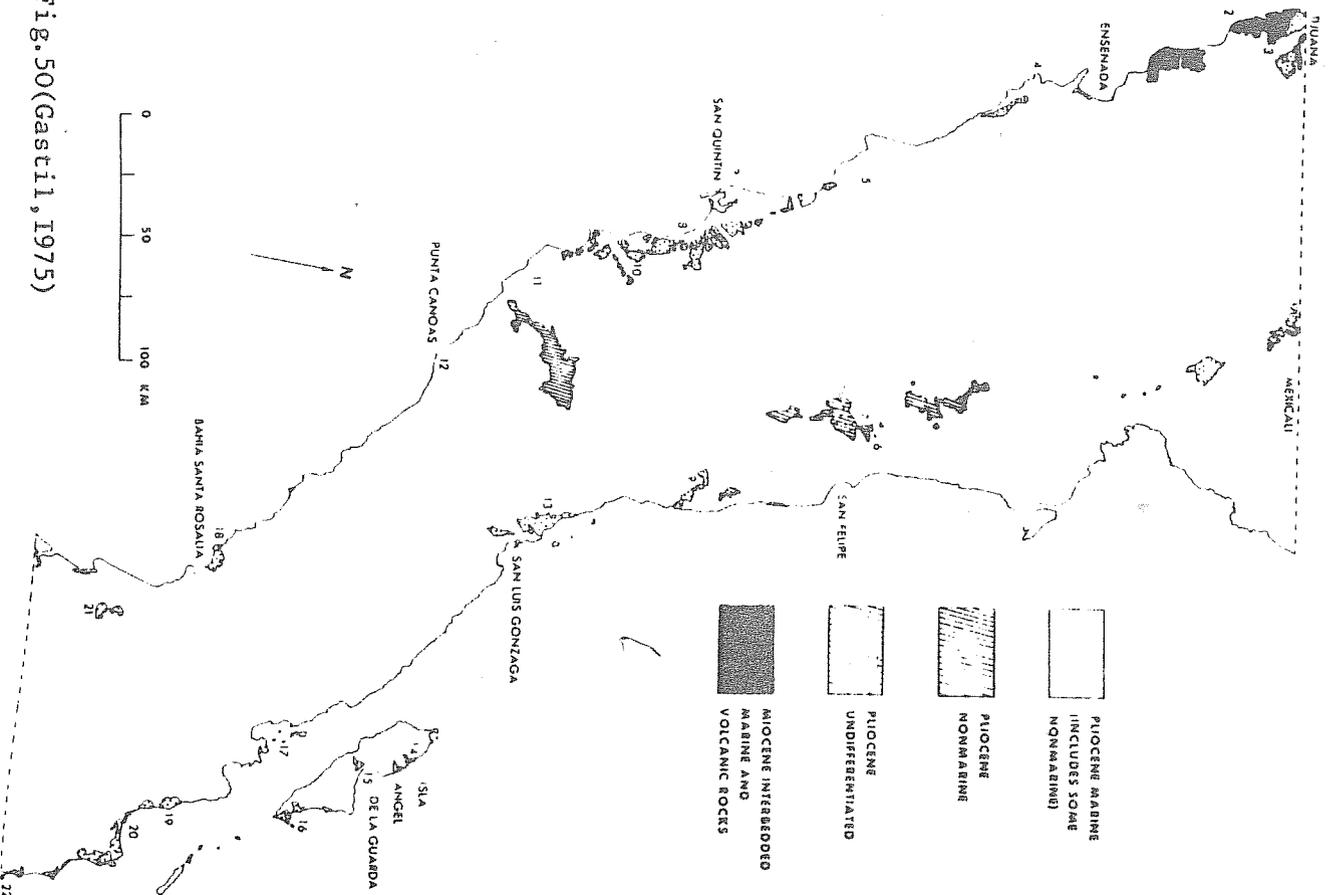


Fig. 50(Gastil, 1975)

Distribution of Pliocene and Miocene sedimentary rocks. Numbers 1 through 22 correspond to localities cited in the text.

5.2 STRATIGRAFIA

	NORTH OF THE BORDER		STATE OF BAJA CALIFORNIA		TERRITORY OF BAJA CALIFORNIA	
	SAN DIEGO	IMPERIAL VALLEY	WEST COAST	GULF DEPRESSION	WEST COAST	GULF COAST
PLEISTOCENE	BAVY POINT FM 1					
	INDIA VISTA FM 7 MANTON FM 8	IMPERIO FM 9 PAIN SAHINO FM 10 IMPERIAL FM 8	LINDA VISTA FM 10 SAN DIEGO FM 11 COSTA FM 11	UNNAMED MARINE STRATA AND VOLCANIC ROCKS 12	SALADA FM - ALMEJAS FM 13 14	VALERQUIAN FM 15 HARRIS FM 16 CARRERA FM 17 BOLED FM 18 SAN MARCOS FM 19
PLIOCENE						

Fig. 51(Gastil, 1975)

5.2.1 Costa pacifica (Gastil 1975)

Sedimenti marini pliocenici affiorano con continuità lungo la costa pacifica dal bacino di Los Angeles (USA) fino al 28° parallelo.

In bassa California la maggior parte di questi è conservata sottoforma di sottili depositi posti su terrazze che si estendono nell'entroterra per qualche Km verso le antiche linee di costa, spesso ben conservate. In molte località tali depositi sono eteropici a sedimenti continentali. Generalmente si tratta di sabbie e conglomerati con giacitura suborizzontale. Le quote d'affioramento sono molto varie.

A SE delle Playas di Tijuana la linea di costa pliocenica è a 200m. Tra Rosario beach e Punta Banda la terrazza più alta è sotto l'attuale livello del mare. Da P.Banda a Socorro i depositi pliocenici affiorano tra i 100 e i 200m. Da Socorro verso S arrivano a 300m a NE di El Rosario.

A Mesa San Carlos sono a 500m, a S di P.Canevas tra 100 e 200 e a 50m più a S Area di Tijuana (Flyn 1970)

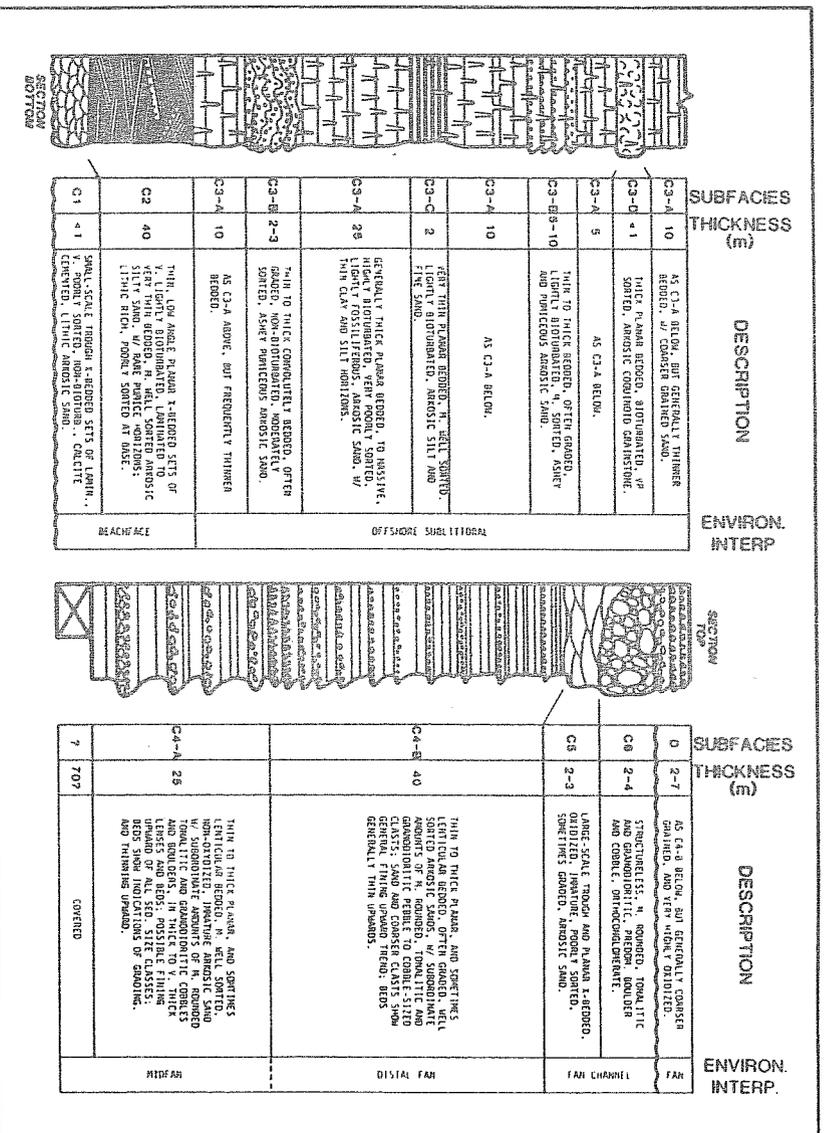
-San Diego Formation La Rosarito F. del Miocene è ricoperta in discordanza da arenarie e da conglomerati pliocenici. Il membro inferiore della San Diego F. consiste di 50 m di arenarie e siltiti grigio-marroni con lenti discontinue di conglomerati.

Il membro superiore è formato da 40 m di arenarie fossilifere giallo-marroni e da conglomerati contenenti clasti di porfidi, quarziti, breccie andesitiche e granitiche. La formazione si è deposta successivamente a un periodo di sollevamento ed erosione, ed è dislocata da faglie normali con piano subverticale. Viene correlata alla San Diego F. degli USA. (fig.3)

Settore N della costa del Golfo

5.2.2 Area di San Felipe (Boehm 1984)

-Llano El Moreno Formation La sedimentazione pliocenica inizia con il Canon Las Cuevitas Member del Pliocene inferiore, posto al di sopra del San Felipe Diatomite Member del Miocene terminale (vedi 4.4.1). Lo spessore del M. è di



Detailed composite stratigraphic column for the upper 250 meters of the San Felipe marine sequence, including the Salada Formation and Quaternary alluvium (from Boehm, 1982).

Fig.52(Boehm, 1984)

65m ed è formato da 2 sottofacies: 1) argillite, 2) arenarie argillitiche. L'età è compresa tra l'inizio del Pliocene inferiore e 3,4my. L'ambiente varia tra la zona batiale media e quella superiore. Le condizioni di ossigenazione sono migliori rispetto al minimo di ossigeno presente durante la deposizione del sottostante membro (fig.39).

Gli apporti sono vulcano-clastici; i meccanismi di sedimentazione sono di tipo grain-flow. Questi litotipi segnano la fine della sedimentazione sili-

cea biogenica del Miocene superiore, e il passaggio a condizioni ambientali meno profonde.

-Salada Formation La serie esposta in fig.52 rappresenta l'intera formazione. La potenza è di 250m; l'età 3,4-1,8my.

Il contatto con la sottostante Llano El Moreno F. è quasi sicuramente discordante. La F. è stata suddivisa in numerose sottofacies (fig.52).

I caratteri mineralogici e tessuturali delle arenarie arcosiche, che costituiscono gran parte della sequenza, indicano un cambiamento delle aree di alimentazione rispetto alla Llano El Moreno F.

Da depositi vulcanici primari si passa a sabbie derivate da rocce granitiche. Tale mutamento è dovuto probabilmente al sollevamento della Sierra di San Felipe e di Santa Rosa. L'ambiente di deposizione varia da litorale a sublitorale, e in seguito diviene di conoide alluvionale. Il rapido sollevamento della piattaforma continentale, l'aumento delle dimensioni dei clasti e la loro provenienza vengono imputati all'inizio del "Transensional Rifting" del Golfo di California, verificatosi secondo questo autore attorno a 3my (vedi 5.3).

Riaggiustamenti tettonici ed elevati tassi di sedimentazione hanno condotto all'emersione alla fine del Pliocene. I depositi pliocenici affiorano attualmente a 700m di quota (Gastil 1975).

5.2.3 Area El Marmol-Isia Encantada (Gastil 1975, 1979)

Nella Parte meridionale della valle del Chico le sequenze mioceniche basculare sono ricoperte da rioliti suborizzontali datate 5,9-3,1my. (fig.27)

5.2.4 Isola di Tiburon e Costa dello Stato di Sonora (Gastil 1979)

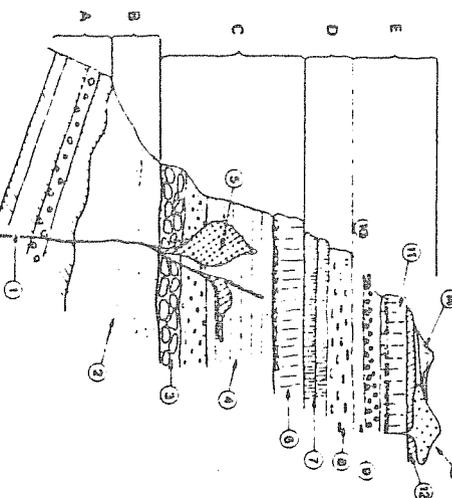
La serie vulcanica più recente è costituita da ignimbriti e basalti di età 9-3my. La sequenza è suborizzontale ed è meno fagliata di quelle sottostanti (fig.27).

5.2.5 Area della Sierra Reforma (Demant 1984)

In questo settore affiora una sequenza vulcanica bimodale del Pliocene, parzialmente intercalata ai depositi marini del bacino di Santa Rosalia. Le unità vulcaniche più vecchie sono costituite da colate di pomici, pomici e cenere di caduta e colate andesitiche sottomarine (5-4my).

I prodotti basici comprendono un complesso sistema di dicchi e lopoliti che intrudono i depositi pliocenici e le pomici di caduta.

Le rocce basiche sono sempre vetrose, afiriche e a fessurazione prismatica. Alcune colate sono sottomarine. Vicino ai camini sono presenti anelli di tufi palagionitici. (fig.53)



Composite stratigraphic column of the La Reforma area.

- A - Middle Miocene Comondú Formation ; B - Gloria Formation (lower to Middle Pliocene) ; C - Submarine Pliocene volcanic sequence ; D - Sub-aerial volcanic activity (Lower Quaternary) ; E - La Reforma caldera volcanic sequence (< 1 m.y.).
- 1 - Comondú calc-alkaline sequence ; 2 - Pliocene Gloria sediments (yellowish sandstones and clays) ; 3 - Pumice flow ; 4 - Ash and pumice air-fall deposits ; 5 - Andesitic dykes, sills and lopolite ; 6 - Andesitic lava flows (sub-marine) ; 7 - Sub-aerial andesitic flows ; 8 - Pelispate-rich dacitic flows ; 9 - Rhyolitic air-fall deposits ; 10 - Strombolian Projection (cinder and scoria) ; 11 - Igneimbritic sheet with vitrophyric level ; 12 - Andesitic lava flows ; 13 - Post-caldera rhyolitic domes and related pumice air-fall deposits ; 14 - Recent lava flows and scoria cones.

Fig. 53 (Demant, 1984)

Nel complesso, sono rocce andesitiche calcoalcaline.

La presenza di questo vulcanismo calcoalcalino plio-quaternario pone grossi problemi interpretativi non ancora risolti.

5.2.6 Area di Santa Rosalia (Ortlieb 1984)

-Gloria Formation (vedi 4.4.2) Questa F. si è deposita tra il Miocene terminale e il Pliocene Medio.

E' costituita da arenarie marine fortemente fossilifere, passanti lateralmente a SW a conglomerati litorali, di delta e fluviali. Lo spessore medio è di 60m. E' separata dalla sottostante Boleo F. da una leggera discordanza (fig.54).

-Inferno Formation E' molto simile come facies alla precedente Gloria F.

E' separata da quest'ultima da una piccola discordanza. Lo spessore aumenta da NW (25m) a SE (110m). E' la più fossilifera delle formazioni plioceniche. Viene considerata del Pliocene superiore, e secondo alcuni autori anche del Pleistocene inferiore. (fig.54)

5.2.7 Vulcanismo alcalino della parte meridionale della penisola

Le lave alcaline affiorano prevalentemente lungo il versante pacifico della penisola. A N del 27° parallelo sono presenti basalti e basalti andesitici nell'area San Ignacio-Sierra San Francisco. (4,5-3my).

Più a S questo vulcanismo è diffuso e continuo un po' ovunque.

5.2.8 Fossa di San José del Cabo (McCloy 1984)

-Trinidad Formation (vedi 4.4.5) Le unità C e D della F. sono di età pliocenica. La prima è costituita da argille a diatomiti depositesi sulla scarpata continentale, la seconda da arenarie e argille di piattaforma esterna.

-Salada Formation Ricopre in discordanza la Trinidad F. contiene arenarie e siltiti di mare basso, con abbondanti macrofossili. Età: Pliocene superiore-Pleistocene inferiore. (fig.40)

5.2.9 Margine continentale della punta della penisola (Leg 64)

Hole 474 E' stata ritrovata crosta oceanica ricoperta da 500m di fanghi diatomitici e di torbiditi fangose. Nel 474 A sono presenti sills doleritici al di sopra di una serie di basalti a pillow con altri sills intercalati.

Le lave sono simili a quelle dell'East Pacific Rise. Questa crosta ha circa 3,5my.

Holes 475-476 Al di sopra degli orizzonti glauconitici (Miocene terminale-Pliocene inferiore?) vi sono fanghi diatomitici emipelagici del Pliocene inferiore. (fig.41)

La crosta oceanica segna l'inizio di una nuova fase di apertura del Golfo (fase di Spreading), avvenuta in seguito ad un precedente evento distensivo (fase di Rifting, vedi 4.4.6 e 4.5).

Mentre nel Miocene superiore la subsidenza era più forte nella fossa di San José che sul margine continentale, a partire dal Pliocene inferiore il rapporto si inverte: nella prima area si assiste ad una lenta emersione, nella seconda si depositano sedimenti pelagici prevalentemente di mare profondo, contemporaneamente alla formazione di crosta oceanica.

5.2.10 Bocca del Golfo

Le fig. 46, 47 e 79 mostrano l'andamento delle anomalie magnetiche della crosta oceanica formatasi presso la bocca del Golfo in seguito all'attivazione dell'East Pacific Rise.

L'anomalia 5b è di 15my, la 5 di 10my, la 4 di 7my, la 3 di 5my e la 2 di 3,5my.

Dalla 3 in poi il fondale è quindi di età pliocenica (vedi anche fig.55)

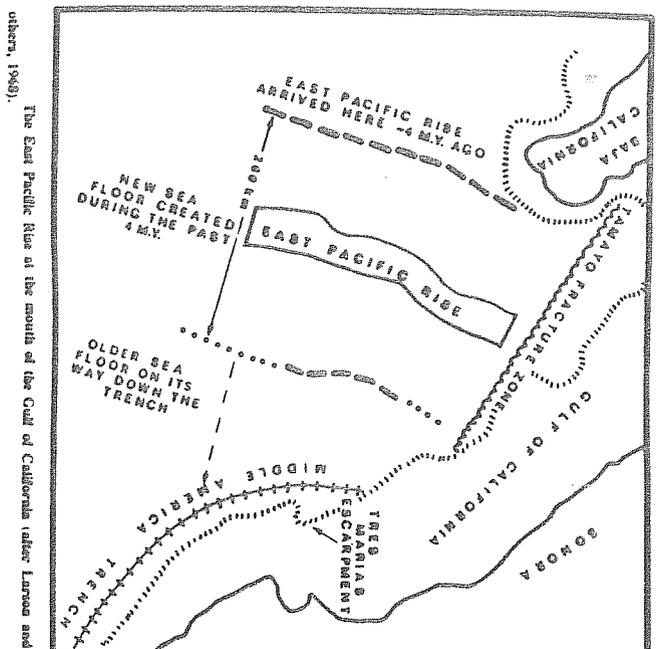
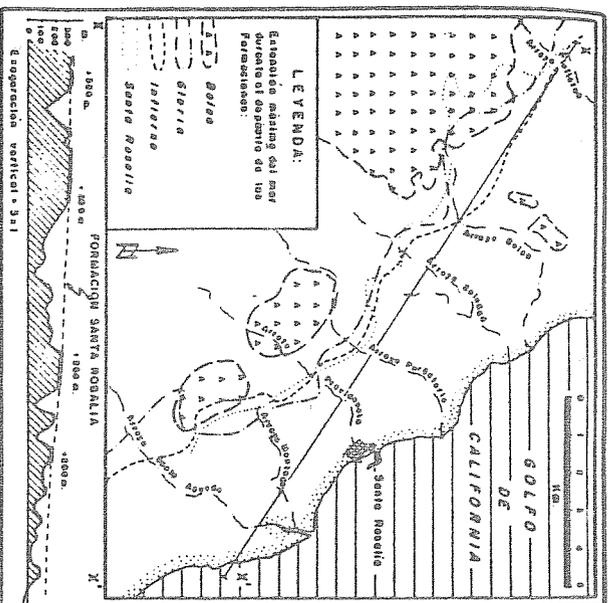


Fig. 54 (Ortlieb, 1984)

Fig. 55 (Gastil, 1975)

5.2.11 Nayarit occidentale e Jalisco Nord-occidentale (Gastil 1979)

Le vulcaniti mioceniche sono ricoperte dai prodotti della cintura vulcanica transmessicana. L'autore non ha potuto ottenere datazioni più recenti di 4my a causa dei limiti dell'attrezzatura.

Le date più vecchie si riferiscono a basalti presenti nella valle originaria del Rio Santiago (4,3my), e a depositi pomicei e vetrofirici compresi tra il vulcano Cerrobruco e Santa Maria de Oro (4my).

Secondo Gastil queste età possono essere riferite e correlate agli eventi tettonici che hanno provocato l'apertura del Golfo di California. Infatti sia i moventi trasformati che lo spreading presente nel Golfo continuano fino ad oggi unitamente al vulcanismo dell'asse transmessicano. (fig.27)

5.3 TETTONICA (Dokka 1982, Colletta 1983)

Sulla costa orientale della penisola la tettonica plio-quadernaria corrisponde all'associazione di faglie normali N-S e faglie trascorrenti NW-SE e NNW-SSE. (Transtensione)

La deriva della Bassa California implica uno scioglimento di circa 260 Km a partire da 3,5my. A terra i movimenti trascorrenti sono numerosi, ma i singoli rigetti sono sempre modesti. Anche le deformazioni legate alle faglie N-S sono molto minori di quelle dovute all'episodio distensivo miocenico.

Nello Stato di Sonora le faglie trascorrenti con rigetto limitato sono ugualmente numerose, ma le deformazioni principali sono dovute a faglie normali N-S, che danno luogo all'attuale morfologia a "Basin and Range".

E' parere di Gastil (1977) che il rigetto di 260 Km si sia ripartito in un reticolo di faglie esteso dalla regione del Golfo fino all'entroterra dello Stato di Sonora.

Nel Pliocene e nel Quaternario l'espansione dell'East Pacific Rise, presente alla bocca del Golfo, è avvenuta in direzione NW-SE. Nella parte meridionale del Golfo le trasformi destre si aprono in questa direzione, il cui Azimut è compreso tra 120° e 125°.

A terra secondo Colletta (1983) la direzione dell'E P R è poco marcata, ed è stata ritrovata solo nell'area del Golfo, in particolare all'altezza dell'isola di San Esteban e nell'isola di Tiburon (faglie normali e graben NE-SW). Anche Hausback (1984) segnala la presenza di faglie normali ad andamento NE-SW nella regione del Capo. I rigetti riconosciuti sono sull'ordine dei 100m.

A seconda che ci si ritrovi sui blocchi continentali o all'interno del Golfo si ritrovano 2 regimi differenti.

Entrambi sono legati allo stesso movimento trascorrente destro (Azimut 120° - 125°), che si manifesta in modo differente a seconda delle proprietà meccaniche del dominio interessato.

A terra i movimenti trascorrenti si verificano lungo faglie NW-SE (A 135° - 145°) ereditate dalla fase miocenica e riattivate nel Pliocene e nel Quaternario. A queste si associa una distensione, tipicamente associata a zone trascorrenti, in senso E-W che crea fosse ad andamento sub-meridiano.

Nella metà meridionale del Golfo, in cui la neoformazione di crosta oceanica è più sviluppata, i movimenti trascorrenti hanno un Azimut di 120° - 125° . In quella N, dove la crosta continentale è più spessa, gli Azimut sono intorno ai 135° , in quanto si tratta di faglie mioceniche riattivate in senso trascorrente.

Il passaggio tra i 2 settori avviene in modo brusco, presso l'isola di San Esteban. Colletta ritiene quindi che la presenza di discontinuità crostali preesistenti abbia giocato un ruolo molto importante nella cinematica dei movimenti tra Nord-America e Placca pacifica.

Nell'area di Santa Rosalia il nuovo regime è iniziato al limite Miocene-Pliocene con un apice della trascorrenza, è proseguito con movimenti distensivi nel Pliocene e nel Quaternario si è avuta una ripresa della trascorrenza.

Anche Dokka (1982) giunge a risultati simili a quelli esposti da questo autore.

Nel settore di Puertocitos la fase trascorrente è iniziata attorno ai 6my.

Anche per Dokka le dislocazioni sono avvenute secondo le stesse linee di movimento mioceniche e nel complesso le deformazioni sono state meno intense che nella fase precedente (fig. 37).

Ricordo che Boehm (1984), in base all'analisi della serie di San Felipe, ritiene che il regime transtensivo sia iniziato attorno ai 3my, quindi successivamente a quanto sostenuto da Dokka e Colletta.

6) PLEISTOCENE E OLOCENE

6.1

INTRODUZIONE

L'evoluzione quaternaria della penisola rappresenta la diretta prosecuzione dell'assetto tettonico instauratosi nel corso del Pliocene inferiore. Alla bocca del Golfo continua l'espansione oceanica lungo l'East Pacific Rise, mentre negli altri settori del Mare di Cortez lo spreading avviene in piccoli bacini di tipo pull-apart collegati da faglie trasformi.

Alla trascorrenza prevalentemente destra (sono presenti pure faglie sinistre, come la faglia di La Paz, Hausback 1984) sono associati movimenti distensivi, che danno luogo, come nel Pliocene, a una situazione di transtensione.

Il confine tra Placca pacifica, di cui fa parte la Bassa California, e la placca Nord-Americana è attualmente rappresentato da una larga fascia compresa tra la costa E della penisola e la parte più occidentale dello Stato di Sonora, in cui sono presenti un gran numero di faglie trascorrenti, solitamente con singoli rigetti limitati.

Anche a W della penisola, nel Continental Borderland, la formazione di bacini sedimentari è con tutta probabilità condizionata da dislocazioni di questo



Fig. 56(Gastil, 1975)

Distribution of Quaternary sedimentary rocks. Numbers 1 through 40 correspond to localities cited in the text.

tipo, come avviene nel settore, meglio studiato, posto al largo della California (USA). I dati raccolti dal Leg 63 confermano la presenza di movimenti trascorrenti lungo la linea Tosco-Abreojos, formatasi (AAV) lungo il bordo del borderland nel Miocene medio-superiore. Pure il rigido blocco continentale della Bassa California viene interessato da faglie di questo tipo. Sono state infatti riconosciute alcune dislocazioni (faglia di Agua Blanca a N, faglia di La Paz a S) che l'attraversano trasversalmente. Le terrazze marine pleistocene-niche mostrano forti differenze di quota tra un settore e l'altro, imputabili a movimenti differenziali avvenuti anche in senso verticale.

La presenza di sedimenti lacustri recenti (Laguna Seca de Chapala), inclinati verso la costa pacifica, indica che la Bassa California sta subendo tuttora un basculamento verso W (Gastil 1975).

Durante il Quaternario è ancora presente in alcuni settori una notevole attività vulcanica.

Nell'area di Santa Rosalia vengono messi in posto i complessi calcocalcinici della Reforma e delle Tres Virgenes. Quest'ultima costituisce l'unico centro della penisola attivo in tempi (1746) storici (fig.56).

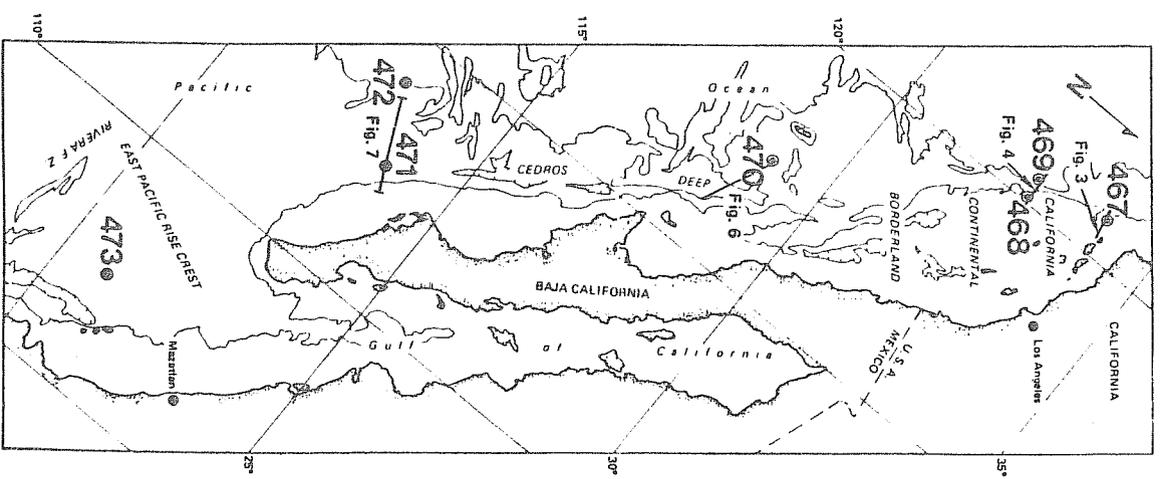
6.2 CONTINENTAL BORDERLAND

Moore (1969) ritiene che la formazione dei bacini presenti attualmente in questo settore sia avvenuta dal Pliocene medio in poi, e che sia continuata fino ad oggi. I tassi di sedimentazione sono compresi tra 5 e 212cm/1000 anni. La sedimentazione è stata prevalentemente di tipo torbiditico.

Krause (1965) fornisce parecchi dati tettonici e geofisici sulla parte più settentrionale del continental borderland, riassunti in fig.57a,b,c.

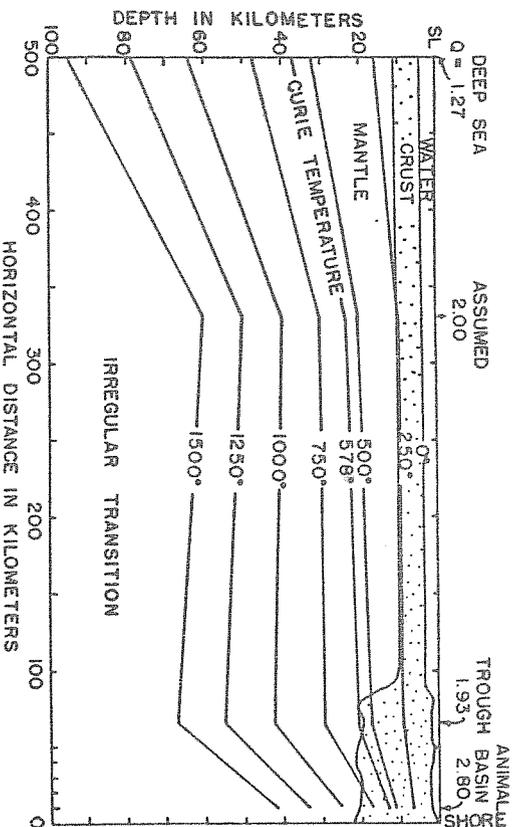
In analogia a quanto si verifica poco più a N al largo della California meridionale (USA) (fig.58), la formazione dei bacini è condizionata dalla presenza di faglie trascorrenti, che proseguono chiaramente anche più a S nel continental borderland Messicano.

Questo settore è stato oggetto di studio del Leg 63. Le informazioni raccolte dalla crociera non sono state sufficienti a



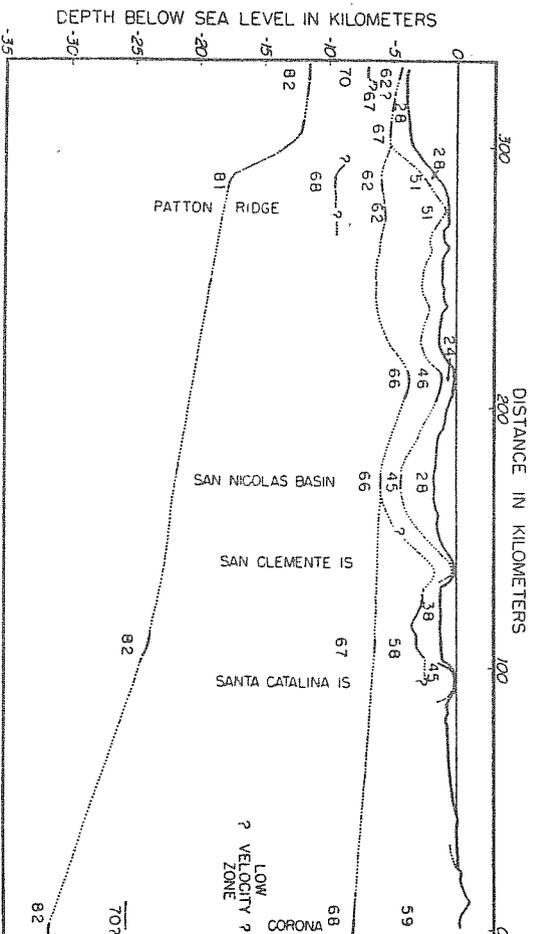
Location of DSDP Leg 63 sites. (Note locations of seismic-reflection profiles shown as line drawings in Figs. 3, 4, 6, and 7.)

Fig.59(Leg 63)



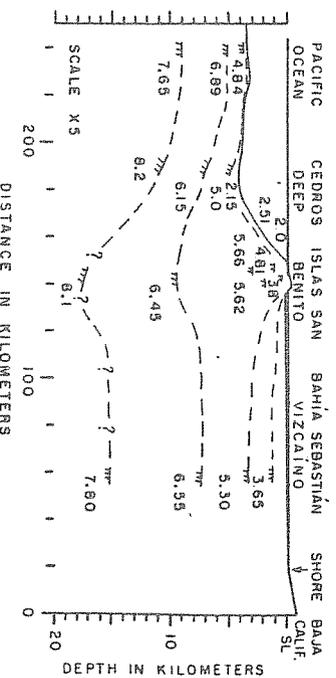
Crustal and mantle isotherms in the deep sea and southern borderland as inferred from heat-flow measurements. Q is the heat flow in $\mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{-sec}$. The Curie temperature is that for magnetite. The trough noted lies between Animal Basin and the Deep sea (fig. 2).

Fig. 57a (Krause, 1965)



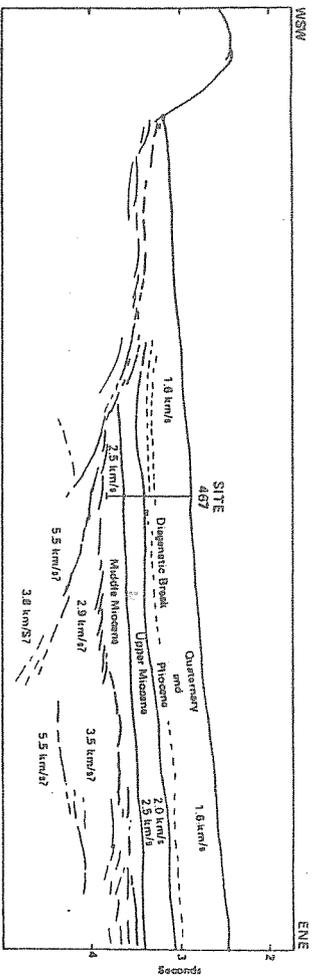
Structure of the northern borderland as determined from seismic refraction studies (from Shor and Knitt, 1958). The profile is a synopsis of many seismic stations and trends west-southwest across the borderland through San Clemente Island.

Fig. 57b (Krause, 1965)



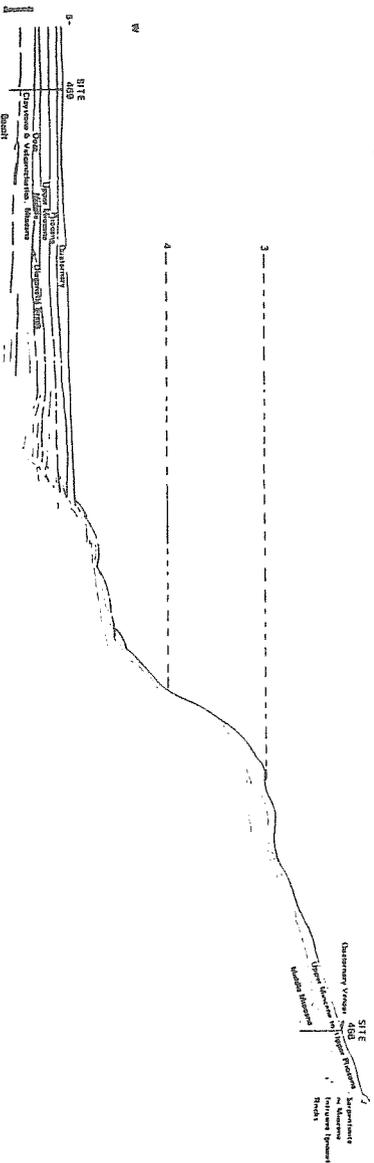
Structure in the south of the southern borderland as determined by Shor and Fisher from seismic refraction studies (from Fisher and Hess, 1963). The profile trends west-southwest across Bahía Sebastián Vizcaíno through the Islas San Benito.

Fig. 57c (Krause, 1965)



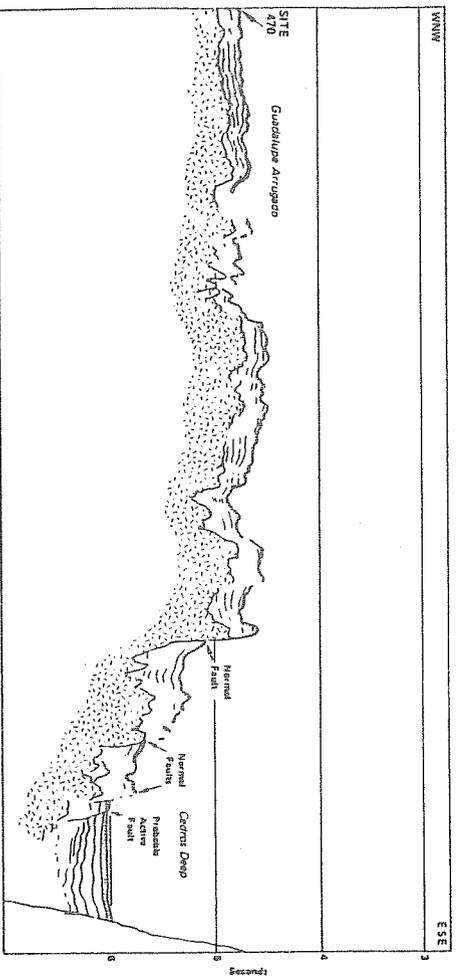
Line drawing of multichannel seismic-refraction profile recorded by U.S. Geological Survey vessel *S. P. Lee* and published by Crouch and others (1978). (This profile appears as fig. 3 of Site 467 report. Stacking velocities and correlation of the reflection profile with drilling results were determined by J. K. Crouch [personal communication, 1978].)

Fig. 60a (Leg 63)



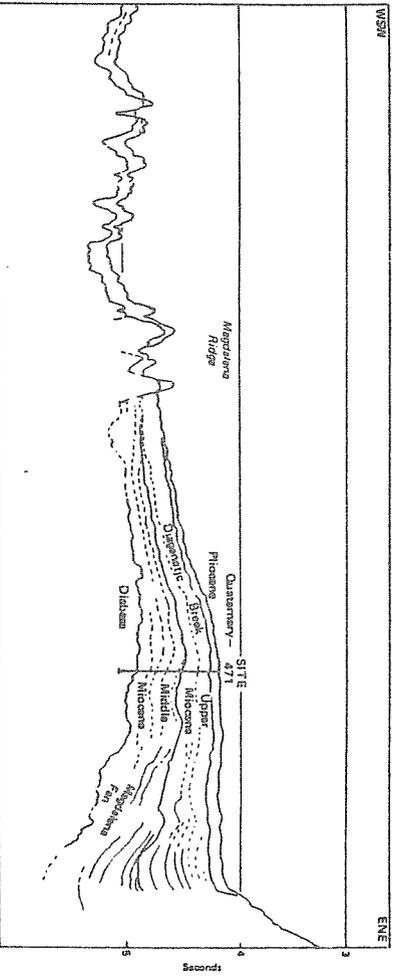
Line drawing of a single-channel seismic reflection profile recorded by *E. B. Scripps* showing Site 460 on Patton Ridge and Site 469 at the foot of Patton Escarpment.

Fig. 60b (Leg 63)



Line drawing of *Glomar Challenger* Leg 63 airgun profile from Site 470 to Cedros Deep. (Location of profile on Fig. 5.)

Fig. 60c (Leg 63)



Line drawing of *Glomar Challenger* Leg 63 airgun profile approaching and departing Site 471. (Magdalena Ridge is suggested by Ness and others [this volume] to be a fragment of the East Pacific Rise that was abandoned 13.7 Ma, trapping a piece of Farallon plate on which the Magdalena fan was deposited.)

Fig. 60d (Leg 63)

risolvere le maggiori controversie sull'evoluzione strutturale di questa regione.

E' stato comunque confermata la presenza di attività tettonica recente lungo la faglia di Tosco-Abreojos (fig.60e) e lungo altri lineamenti.

Inoltre i profili sismici (fig.60a,b,c,d) mostrano che i depositi miocenici sono poco tettonizzati e che non vi è nessuna evidenza di prismi di accrescimento legati a una zona di subduzione avente questa età (vedi anche 4.5).

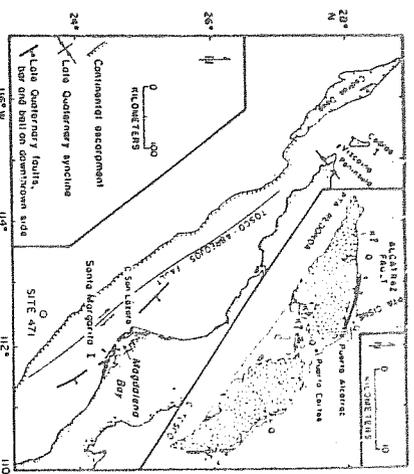


Fig. 60e(Leg 63)

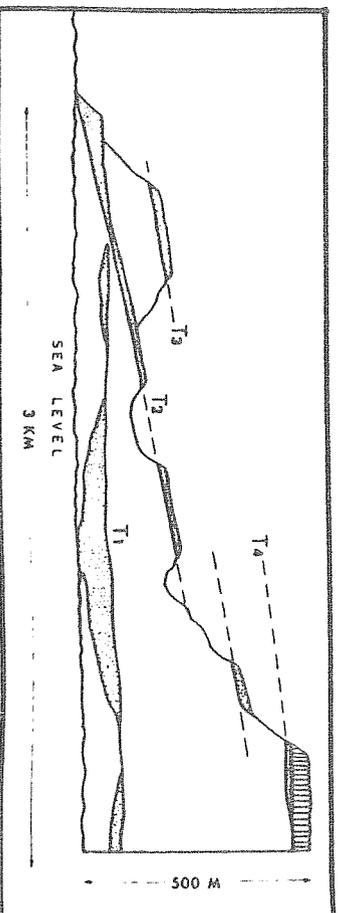
6.3 COSTA PACIFICA (Gastil 1975, Woods 1980)

A N del confine sono presenti principalmente 2 terrazze marine pleistoceniche: la prima a q. 100-150m è ricoperta da arenarie e conglomerati rossi ferruginosi; la seconda è prossima al livello del mare ed è caratterizzata da arenarie molto fossilifere.

Strati rossi simili a quelli delle terrazze più alte sono presenti a S del confine a S di Tijuana e a S delle isole Los Coronados. Una terrazza molto fossilifera, prossima alla linea di costa, affiora con continuità dalle Playas de Tijuana fino a La Mision.

Da Punta San Tomas a San Quintin vedi riferimenti bibliografici in Gastil(1975). Da San Quintin a Punta Canoas sono state ritrovate 4 terrazze (fig.61).

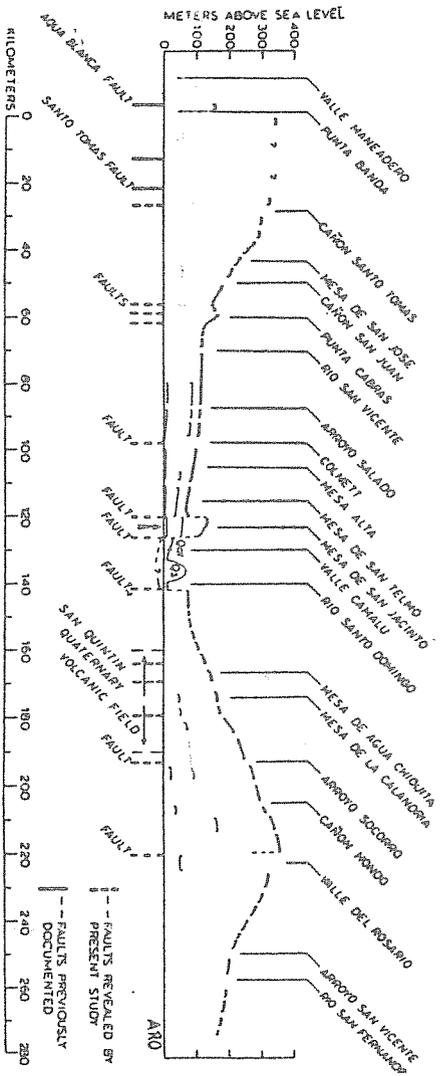
La T4 è ricoperta da basalti pliocenici, la T2 e la T3 da ciottolami contenenti clasti basaltici. La T1 è suborizzontale e ricopre una morfologia incisa dal drenaggio. Attualmente è a 10-20m s.l.m. Tra la formazione della T2 e della T1 sono avvenuti sollevamenti accompagnati da un basculamento verso W.



Diagrammatic sketch of terraces T1 through T4 west of Mesa San Carlos, Pacific coast of Baja California, at lat 29°30' N.

Fig.61(Gastil, 1975)

A S di P.Canoas gli strati pleistocenici affiorano pochi metri sopra il mare. Nei pressi di P.Rosarito un terrazzo del Pleistocene superiore è stato ritrovato a 7m s.l.m. Nella fig.62 vengono illustrati i rapporti esistenti tra le terrazze marine della porzione NW della costa pacifica e le faglie presenti lungo la medesima costa.



Deformation of the highest Quaternary marine terrace in northwestern Baja California between Ensenada and Punta San Carlos (Fig. 3). Selected lower shorelines are shown locally. The figure is taken with permission from Orme (1972, Fig. 1, p. 628; 1974, Fig. 1, p. 69).

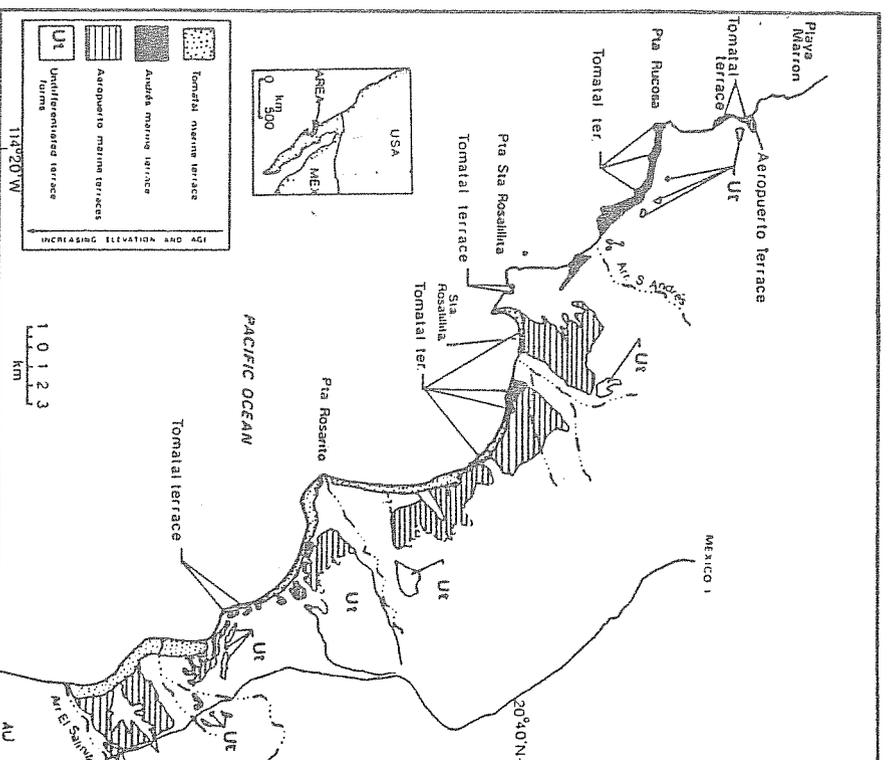
Fig. 62 (Woods, 1980)

Tra Playa El Marron e Arroyo El Salinito (fig.63) sono state identificate 3 terrazze: la più bassa, El Tomatal, è situata a 7m ed ha un'età di 120.000 ± 20.000 anni. Le età assolute delle altre 2; la Andres T. (31-24m) e la Aeropuerto T. (58-54m), rimangono ancora sconosciute. La più antica è basculata verso la costa, e probabilmente anche la Andres T. è tiltata.

A S del $28^{\circ} 30'$ parallelo la piana costiera è generalmente molto estesa e tende a essere sommersa. Al di sotto delle sabbie di duna, la terrazza costiera è ricoperta da arenarie indurite (spessore 3m) calcificate, che ricoprono a loro volta argilliti rosso-marrone.

Nel Pleistocene superiore e nell'Olocene lungo questa costa si sono formate numerose lagune. La Laguna Guerrero Negro (San Miguel), la Scammons Lagune (Ojo de Lievre) e la Laguna Manuela si sono formate tra i 6000 e i 7000 anni B.P. L'attuale barrier beach ha un'età di 1800 anni. E' presente anche un ciclo lagunare più antico di 30.000 anni.

Fig. 63 (Woods, 1980)



The Playa El Marron - Arroyo El Salinito field area with the location and extent of each recognized Quaternary marine terrace shown.

6.4 DEPOSITI SEDIMENTARI DELL'INTERNO DELLA PENISOLA (Gastil 1975)

All'interno della penisola sono presenti notevoli quantità di depositi quaternari, la cui esatta collocazione cronologica è per lo più inesistente. Arnold (1957) ha descritto le linee di costa pleistoceniche della Laguna Seca di Chapala. L'autore ritiene che la penisola sia stata basculata verso W in modo apprezzabile nelle ultime migliaia di anni. Depositi alluvionali poco potenti affiorano in numerose valli. (fig.56)

6.5 IL VULCANISMO DELLA PENISOLA (Sawlan 1984, Demant 1984, Lira Herrera 1984)

6.5.1 Settore N

Nei pressi del Delta del Colorado si sono formati alcuni centri vulcanici connessi alla zona di espansione più settentrionale del Golfo di California: la Salton Trough. Gli Obsidian Buttes della Salton Trough sono riolitici, mentre Cerro Prieto, posto 25Km a S di Mexicali è riodacitico (fig.64). Entrambi giacciono sull'asse della fossa prima nominata, che viene interpretata come un bacino di pull-apart con formazione di crosta oceanica al fondo (vedi 6.7, fig.70) più a S lungo la zona di frattura di Guaymas si è formato sulla

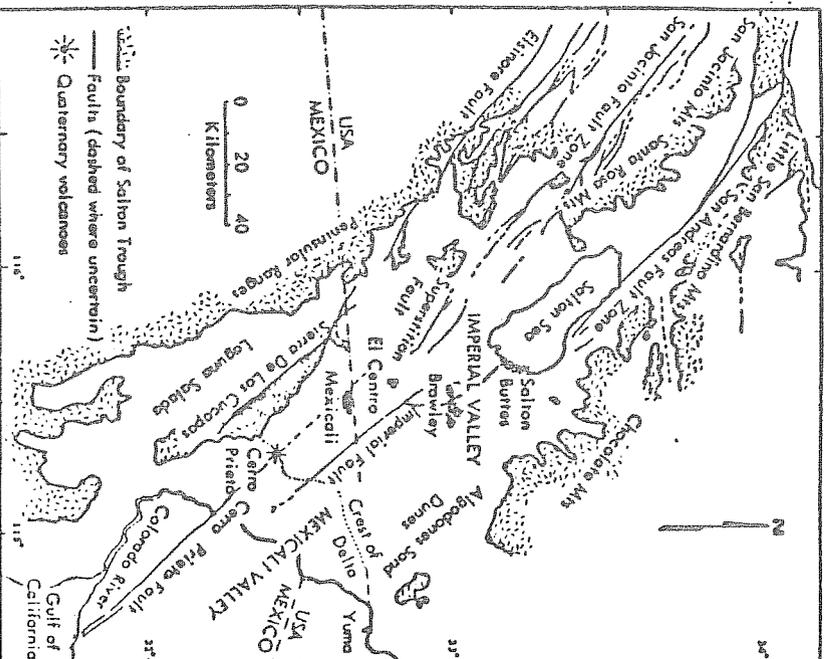


Fig.64 (Eiders)

costa della penisola, tra San Felipe e San Luis Gonzaga, il Cerro Leon un cono con colate di andesiti basaltiche.

Sul versante pacifico della penisola l'attività è prevalentemente basaltica, e rappresenta la prosecuzione del vulcanismo alcalino pliocenico. Le aree di maggior attività sono situate nei pressi di San Quintin, Jaraquay, El Rosarito El Arco e Playa Amarga.

6.5.2 Tres Virgenes (Lira Herrera 1984)

Quasi contemporaneamente alle vulcaniti del Complesso Reforma compaiono i prodotti del settore delle Tres Virgenes, eruttati dai vulcani omonimi, dal vulcano El Azufre e da coni satelliti allineati generalmente N-S:

Le andesiti e le daciti che formano il vulcano El Azufre costituiscono la base della serie quaternaria.

Generalmente predominano le andesiti porfiriche. Il vulcano 3 Virgenes è costituito alla base da basalti a olivina e augite, emessi da vari centri. Gran parte dell'apparato è costituita però da colate andesitiche eruttate nel corso di più fasi. Nelle parti basse a S e a SW affiorano tufi e pomici di caduta emessi tra i cicli andesitici. Il tutto è ricoperto da andesiti basaltiche e da basalti.

L'ultimo evento è rappresentato dall'emissione di una colata andesitica localizzata nella parte S dell'apparato e dalla messa in posto di un duomo dacitico lungo il fianco N del vulcano El Azufre.

Il chimismo di questi edifici è calcocalcalino. (fig.65) Il vulcano 3 Virgenes è l'unico centro storicamente attivo presente in Bassa California. Fonti storiche indicano che l'ultima eruzione è avvenuta nel Maggio-Giugno del 1746.

6.5.3 Sierra Reforma (Demant 1984)

In questo settore l'evoluzione vulcanica è caratterizzata da 2 cicli: il primo piocenicico (vedi 5.2.5), e il secondo quaternario più recente di 1my. Quest'ultimo, noto come ciclo della Caldera Reforma, è costituito dalla seguente successione di eventi: eruzioni ignimbritiche, emissione di lave andesitiche, collasso centrale, sviluppo di duomi riotitici nella caldera e forte sollevamento collegato a una rinnovata attività della camera magmatica. Considerando l'attuale stadio di sviluppo della caldera Reforma non è esclusa la possibilità di una grande eruzione nella sua parte SW. Anche in questo complesso il chimismo è calcocalcalino. (fig.65, 53)

6.5.4 Settore S (Sawlan 1984)

Le eruzioni alcaline pleistoceniche sono concentrate, a S del 27° parallelo, nel settore W della penisola nei pressi di La Purissima. Tra San Isidro e il villaggio di Comondù è presente una fascia larga circa 10Km, in cui il vulcanismo è associato a piccoli graben e mezzi-graben diretti N-S e NW-SE.

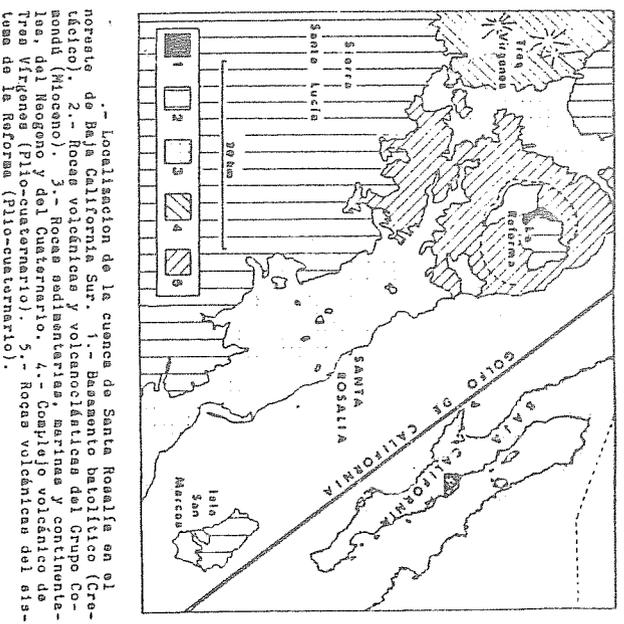


Fig. 65 (Lira-Herrera, 1984)

6.6 COSTA DEL GOLFO

6.6.1 Aerea settentrionale (Gastil 1975)

Le più potenti serie pleistoceniche si sono deposte nella parte N del Golfo in ambiente salmastro, lagunare, evaporitico e di piana tidale.

Nella valle del Borrego sono stati carotati 3000m di materiali pleistocenici, per lo più continentali. La maggior parte dei sedimenti che hanno riempito la parte più settentrionale del Golfo provengono dal Gran Canyon dell'Arizona. L'abbondanza di depositi non marini indica che questa area era più elevata del mare, oppure era sbarrata in modo tale che quest'ultimo non avesse accesso.

Terrazze marine pleistoceniche sono presenti lungo la costa orientale della penisola a San Felipe, Puertocitos, San Luis Gonzaga e a Baia Los Angeles.

6.6.2 Area della Reforma

I dati su quest'area sono sintetizzati in fig.66a e b.

6.6.3 Area di Santa Rosalia (Ortlieb 1984)

-Infierno Formation (vedi 5.2.6) Secondo alcune correlazioni il tetto di questa formazione, costituita da arenarie marine fossilifere, potrebbe essere del Pleistocene inferiore.

-Santa Rosalia Formation Comprende sabbie e conglomerati fossiliferi litorali passanti a breccie e conglomerati continentali. Lo spessore va da pochi metri a 15m. Si è deposta circa 1my fa nel corso di una breve trasgressione. Affiora a circa 200m di altezza (fig.54).

-Terrazze marine Si ritiene che le terrazze marine presenti nella conca di Santa Rosalia (fig.67) si siano formate in corrispondenza degli ultimi 7 periodi interglaciali, compresi tra 700.000 e 120.000 anni.

6.6.4 Area tra Santa Rosalia e Baia Concepcion

Anche in questo caso si rimanda alle fig.68a e b.

6.6.5 Costa Centrale dello Stato di Sonora

Nel Field Trip Guide-book del Symposium su "Neotectonics and Sea Level Variations in the Gulf of California Area (1984)" sono trattate le terrazze pleistoceniche presenti nella parte centrale della costa dello Stato di Sonora nei pressi di Desemboque, Baia Kino e Puertolibertad. Si rimanda direttamente al testo.

6.6.6 Area a S di La Paz

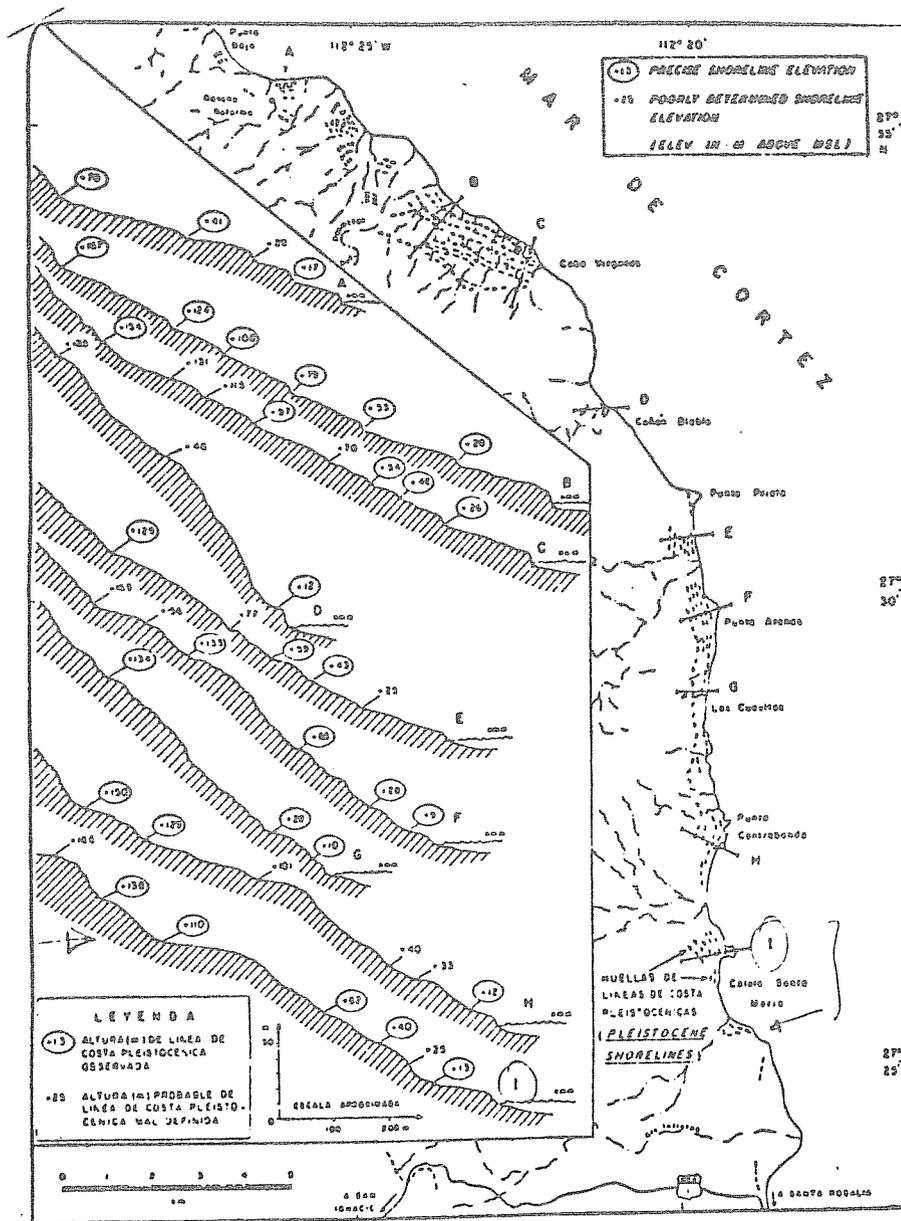
In Sirkin (1984) vengono riportati i risultati preliminari relativi all'analisi delle terrazze marine presenti nella regione del Capo (fig.69).

Per una trattazione completa si rimanda al testo.

6.6.7 Fossa di San José del Cabo (McCloy 1984)

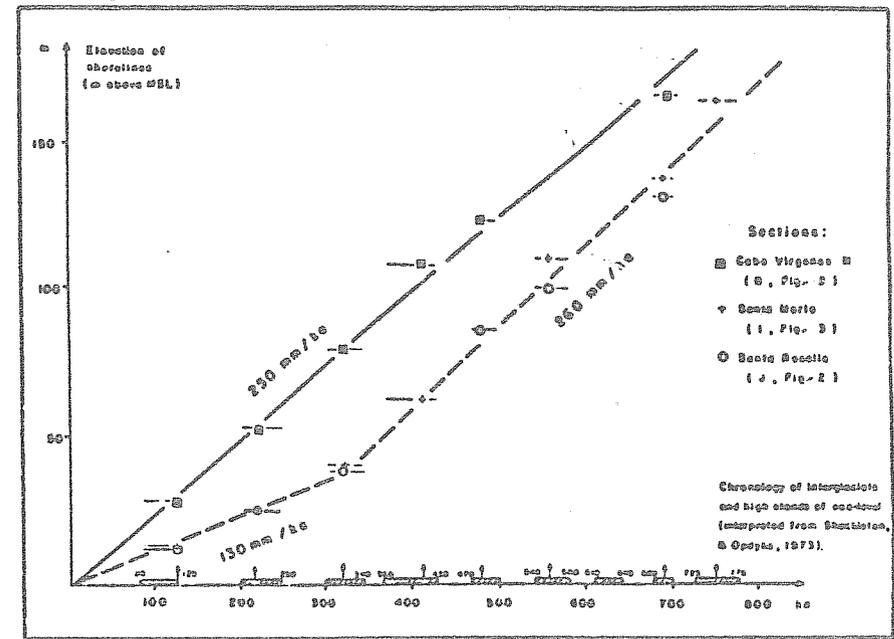
-Salada Formation (vedi 5.2.8) La parte superiore della formazione è del Pleistocene inferiore. Si tratta di arenarie e siltiti con macrofossili di ambiente sublitorale.

-Arenarie e conglomerati fluviali. Questi depositi ricoprono in discordanza la Salada F. Rappresentano conoidi alluvionali pleistocenici. (fig.40)



Distribution of Pleistocene marine terraces along the coast of La Reforma volcanic complex (from Ortlieb, 1981b). Localization of sequences of terraces (A to I) and indication of the elevation of the shorelines (see also Fig.III-8 and III-9).

Fig.66a(Ortlieb,1984)



Tentative shorelines elevation-age plot of three sections across the La Reforma-Santa Rosalia coastal area (from Ortlieb, 1981b). The three sections are localized in Fig.IV-18. Vertical arrows on the time scale correspond to the peak of each interglacial stage deduced from the V28-238 isotopic curve of Shackleton & Opdyke (1973) (see Fig.III-10). Hatched boxes on the time scale and thin horizontal lines represent the duration of isotopic stages.

The plot supports a fair correlation of the successive shorelines with most of the Middle and Late Pleistocene inferred high stands of sea level.

Suggested uplift rates are indicated along the curves.

Fig.66b(Ortlieb,1984)

SANTA Agüeda (K)	ROSALIA Rosalia (P)	ARROYO Arroyo Furfafforio (L)	AREA Santa Maria (I)	Punta Contreras (H)	LA Las Cuevas (C)	REFORMA Punta Araña (P)	REFORMA Punta Friseta (E)	AREA Canoa Dabice (D)	AREA Cabo Virgenes S (C)	Cabo Virgenes N (B)	Rancho Reforma (A)
	190 +10 -9	238 +7 -5 225 +5 -3	166 +8 -6	150 +2 -2		169 +7 -7		185 +7 -7			
		207 +6 -3 156 +7 -6				156 +4 -4					
		132 +5 -5	136 +5 -2	138 +2 -4	129 +2 -4	134 +2 -2	133 +2 -2	129 +11 -6	154 +2 -2	167 +2 -4	
		100 +6 -6	112 +5 -3	110 +2 -7	101 +3 -7			116 +2 -13	131 +19 -2		
		88 +7 -5	86 +6 -5				77 +2 -9		115 +10 -10	124 +2 -3	
		66 +6 -6	54 +3 -2	62 +2 -6		65 +2 -2	59 +2 -2		97 +2 -7	108 +2 -5	110 +7 -5
	39 +5 -5	39 +3 -5	40 +2 -5	40 +4 -4	40 +2 -9		43 +2 -2	70 +6 -6	79 +2 -5	79 +2 -5	72 +5 -5
	26 +4 -6	25 +5 -2		23 +7 -7	33 +2 -0	28 +2 -2	28 +2 -0	25 +4 -5	54 +2 -5	53 +2 -5	39 +4 -9
	20 +5 -5								46 +2 -6	46 +2 -6	29 +2 -6
	12 +5 -9	12 +2 -9	14 +2 -3	13 +2 -5	12 +2 -2	10 +2 -4	9 +2 -2	12 +2 -2	26 +2 -6	26 +2 -6	20 +2 -4
											17 +6 -2

Lateral correlation of shorelines (measured elevations in metres above present MSL) observed in 12 sections across the coastal area of La Reforma and Santa Rosalia Basin (from Ortlieb, 1987b). Localization of the sections in Fig. III-7 and IV-8. The accuracy of the measured elevations mainly depends on the precision with which paleo-sea levels could be determined in the field; the most reliable data are indicated here by underlined values.

Fig. 67a (Ortlieb, 1984)

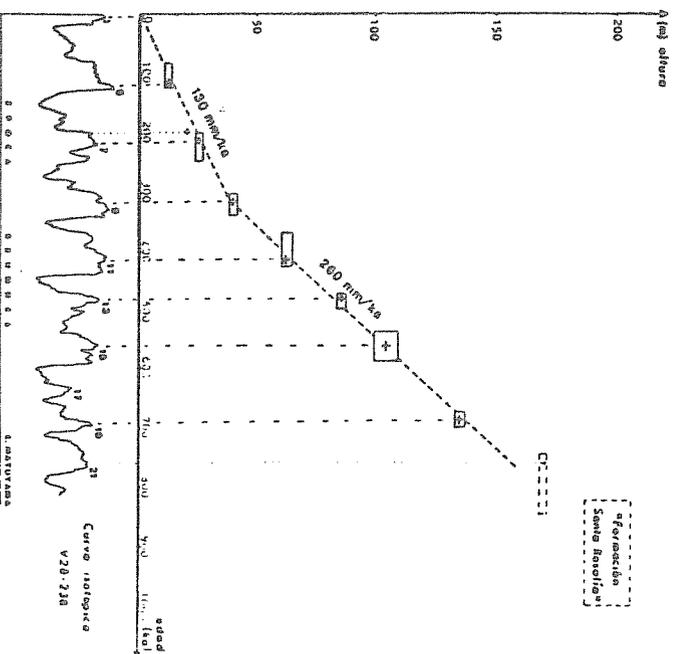
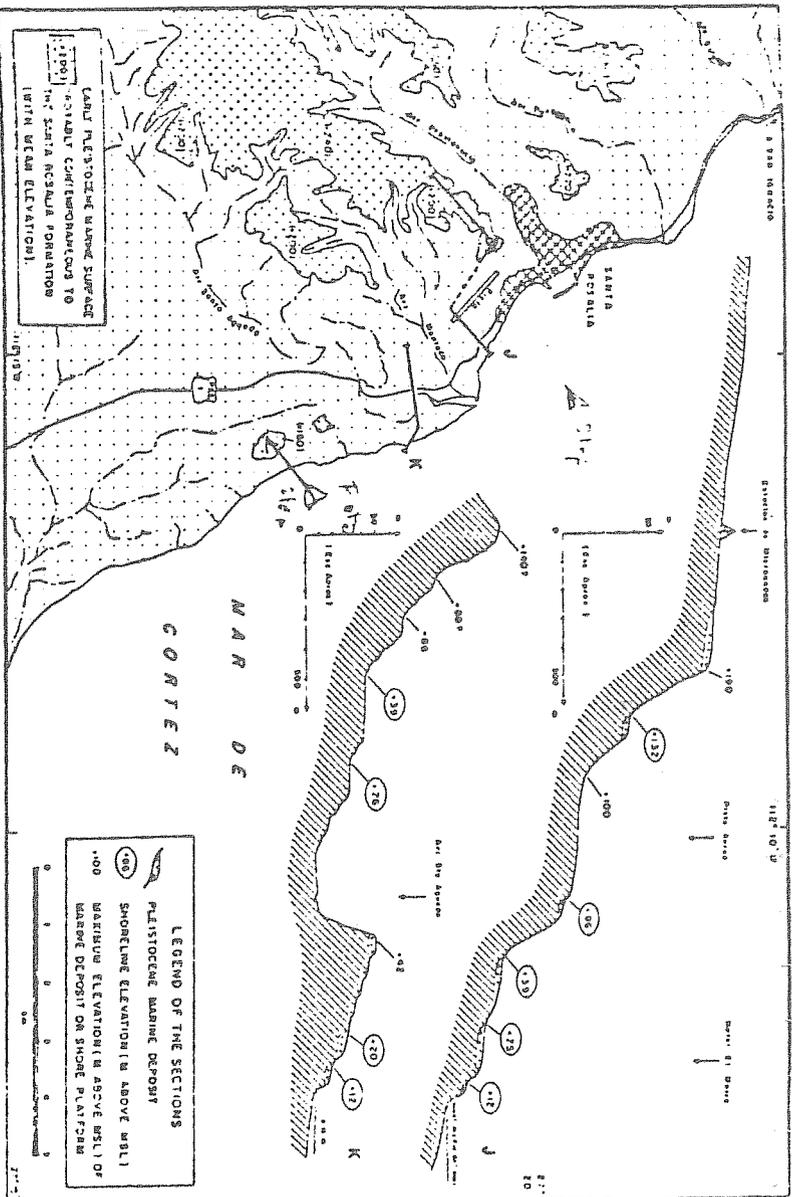


Fig. 67b (Ortlieb, 1984)

Interpretación cronostratigráfica de las líneas de nodos paleocostónicas en la cuenca de Santa Rosalia y tazas de levantamiento interfluviales. En el diagrama, las cruces figuran las distintas líneas de costas, definida por su altura y su edad probable. Los rectángulos corresponden al margen de incertidumbre, tanto en la determinación altimétrica del antiguo máximo nivel del mar, como en la interpretación cronológica basada en la curva V28-238 (Shackleton y Opdyke, 1973). Las rectas que unen los rectángulos permiten evaluar tasas de levantamiento de la zona costera con respecto al nivel del mar (considerando que éste no ha sido significativamente diferente de un período interglacial al otro).



Santa Rosalia and Santa Agueda series of marine terraces : localization and elevations of the shorelines corresponding to the maximum sea level coeval with Pleistocene interglacial transgressions (from Ortlieb, 1981b).

Fig. 68a(Ortlieb, 1984)

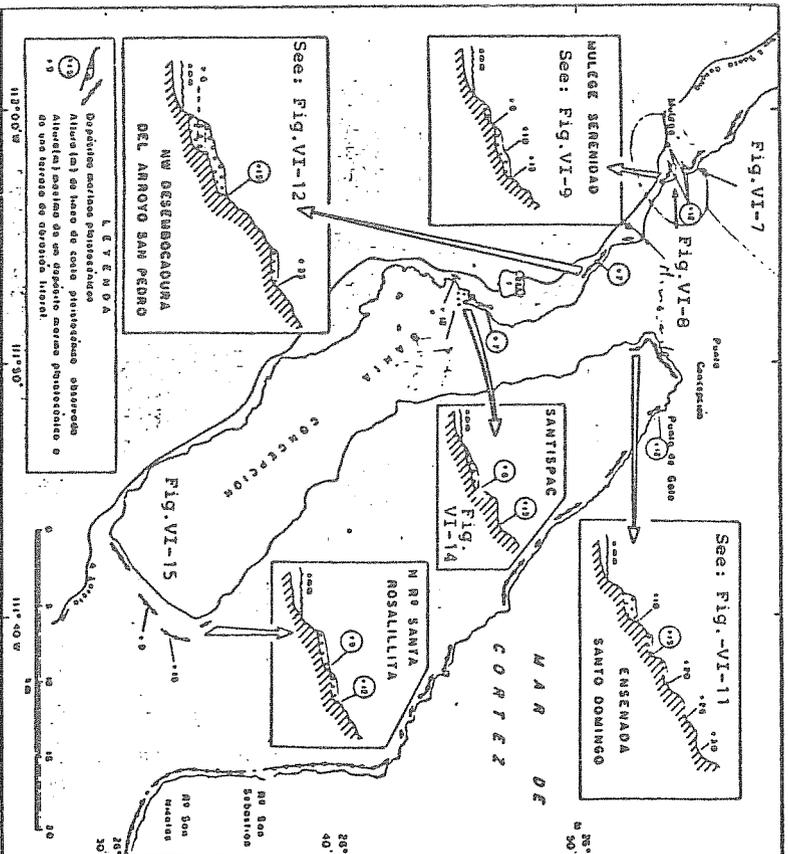


Fig. 68b(Ortlieb, 1984)



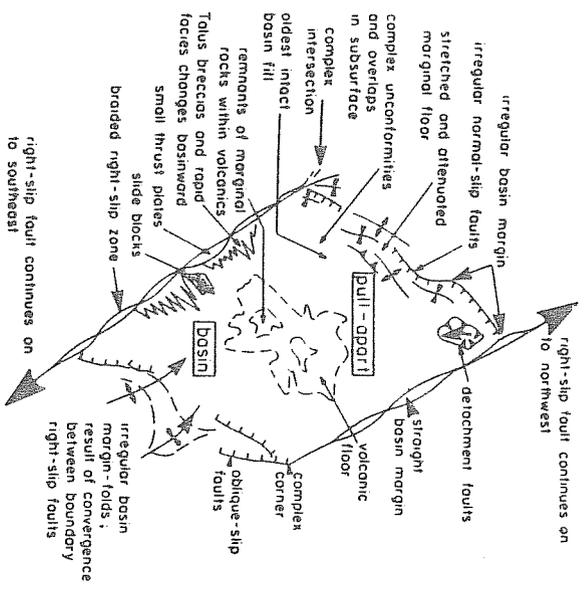
Fig. 69(Sirkin, 1984)

6.7 DATI OCEANOGRAFICI SULLA STRUTTURA DEL GOLFO DI CALIFORNIA (Moore 1973, Colletta 1983)

La struttura dell'attuale Golfo di California, o mare di Cortez, è caratterizzata dalla presenza di piccoli ma profondi bacini (Fig.70a), collegati da faglie trasformi (fig.71b), in cui avvengono processi di crescita crostale.

Queste fosse vengono interpretate come pull-apart basins (fig.70), la cui presenza è caratteristica lungo le zone trascorrenti. I tassi di sedimentazione, generalmente elevati rispetto ai tipici fondali oceanici, provocano la formazione di una crosta oceanica intermedia costituita sia da rocce basaltiche intruse in depositi sedimentari. (fig.71c)

A S di Cabo San Lucas, è invece in atto (a partire da Amy circa) la formazione di tipica crosta oceanica, con sviluppo di fasce con anomalie magnetiche simmetriche allineate lungo l'East Pacific Rise, avente direzione NE-SW (fig.46b,47, 79).



A general model of pull-apart basins (Crowell, 1974b).

All'altezza dell'isola di San Esteban è stato riscontrato un

importante variazione della direzione delle faglie presenti nel Golfo.

A N gli Azimut sono compresi tra 130° e 145°, a S tra 120° e 125° (vedi 5.3).

Nel primo settore le direzioni corrispondono a quelle delle faglie distensive mioceniche, rimobilizzate in senso trascorrente a partire dal Pliocene. Nel settore meridionale un maggior assottigliamento della crosta continentale ha dato luogo alla formazione di nuove faglie plio-quadernarie meno condizionate dalle strutture crostali preesistenti.

Nella parte settentrionale i tassi di sedimentazione sono molto più elevati che in quella meridionale, a causa della grande quantità di apporti clastici provenienti dal Rio Colorado.

6.7.1 Settore N (Henry 1973, Klitgord 1974)

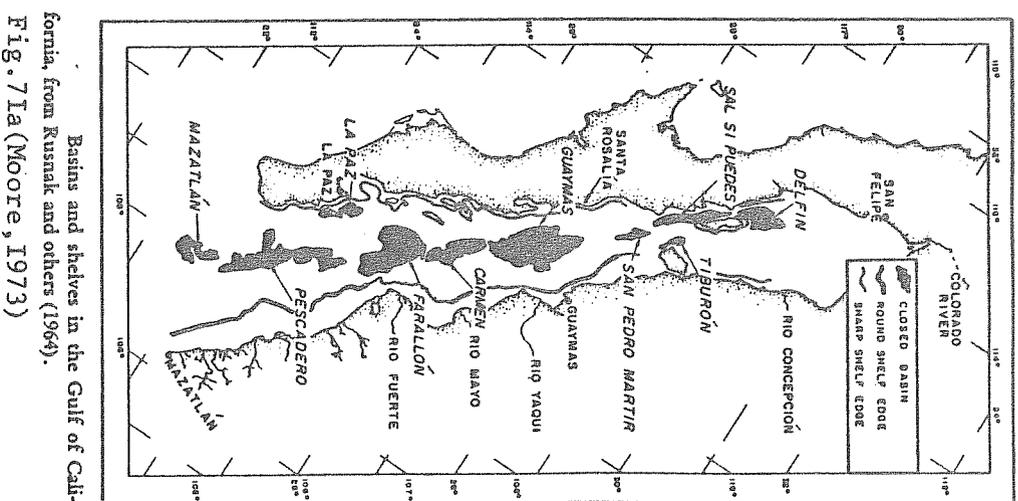
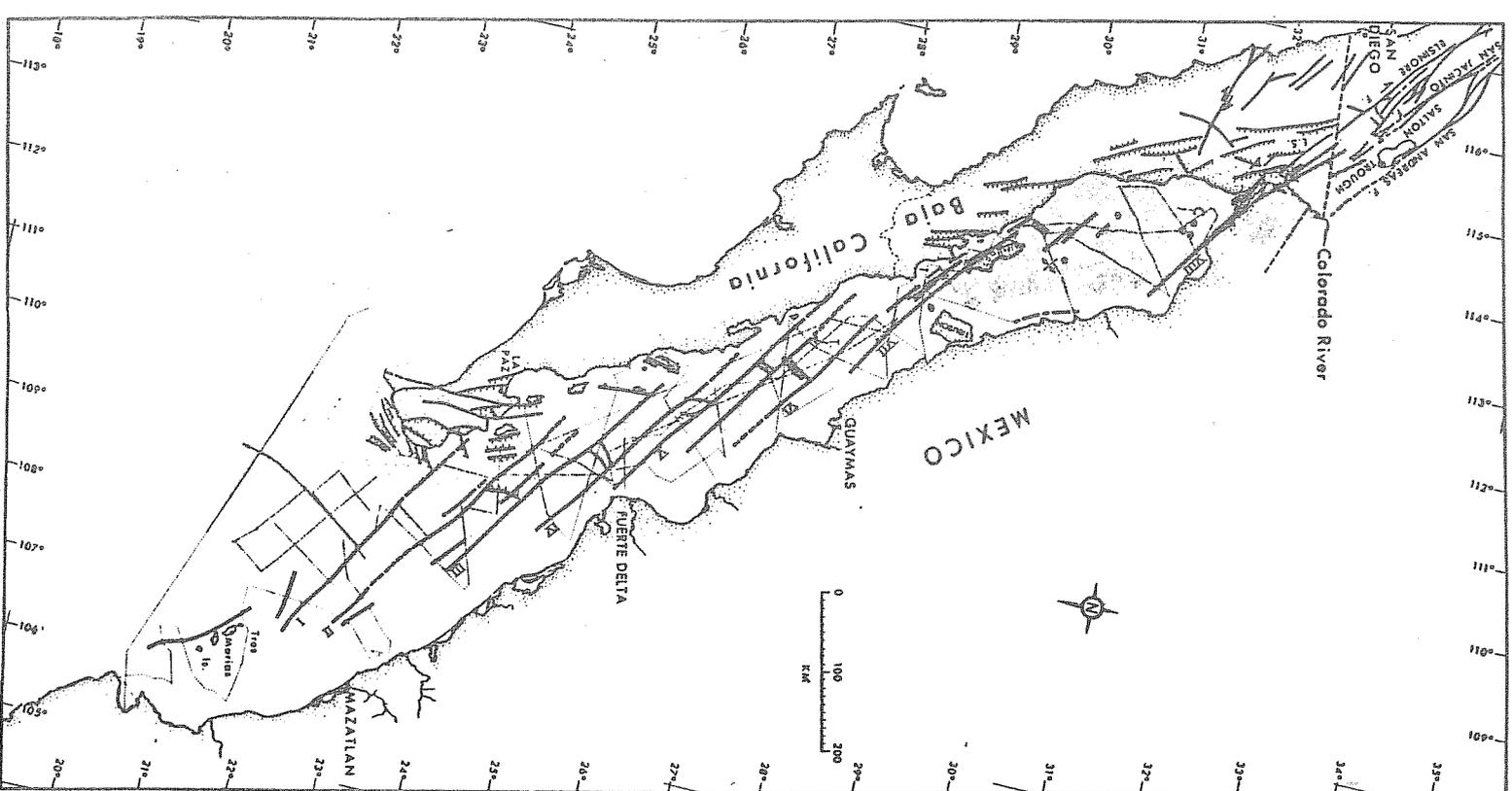
Nell'area compresa tra la bocca del Rio Colorado e San Felipe si sono depositi, da 40.000 anni fa ad oggi, sedimenti fini provenienti dal fiume e depositi evaporitici. Attualmente, nel settore N, fino a 10 Km dalla costa, si depongono sabbie di provenienza locale. La parte più profonda è ricoperta dal materiale trasportato dal Colorado, che giunge fino al bacino di Salsipuedes.

A N, nelle zone meno profonde di 10m si sono deposte sabbie trasgressive oloceniche, ricche di glauconite.

Dal punto di vista tettonico il centro di espansione più settentrionale del Golfo è rappresentato dalla Salton Trough. Sia i dati geofisici che geologici indicano che si tratta di un pull-apart basin, attivo fino ad oggi. (vedi 6.5.1 fig.64)

Anche la presenza di sedimenti recenti dislocati, nei bacini più profondi, indica che l'assetto di questo settore è fortemente condizionato dalla tettonica (fig.72).

Il Delphin basin rappresenta un singolo centro di espansione oceanica allungato in direzione NE-SW. In questo centro di spreading terminano 2 faglie trasformi parallele, che dopo aver fiancheggiato l'isola Angel de la Guardia giungono nella parte S del bacino. A NE è limitato da una faglia trasforme

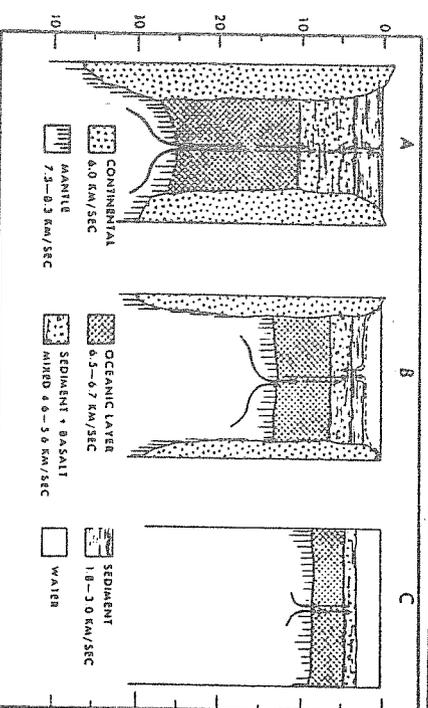


Basins and shelves in the Gulf of California, from Ruskak and others (1964).

Fig. 71a (Moore, 1973)

Fracture zones and other significant faults in the Gulf of California. Dashed lines indicate inferred fracture zones and faults. Onshore faults are from King (1969) and USGS Map I-512 (1966). Offshore faults at southern tip of Baja California are from Normark and Curry (1968). Shading indicates areas interpreted as new crust. Light dashed lines show data control of ship's tracks. Major fracture zones are numbered I through VIII. Letters L, S, in northeastern Baja California show position of Laguna Salada. Letter C in northernmost gulf gives position of Consag Rock. Five dots in northern gulf and one in Salton Trough are positions of recorded earthquake swarms (Thatcher and Brune, 1971). Islands northwest of Guaymas are Tiburon and Angel de la Guarda. Heavy dashed line north of Tiburon Island along coast is interpreted edge of crystalline basement. Letter T in gulf southwest of fracture zone VI is position of Tortuga Island.

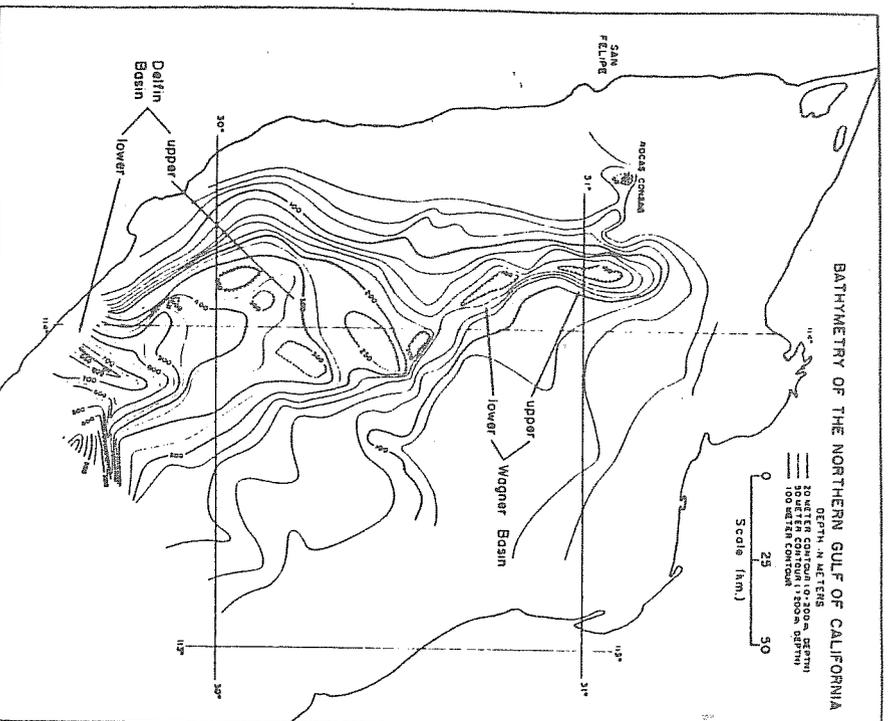
Fig. 71b (Moore, 1973)



As continental rim apart in region of Colorado River sediment supply (A), partial compaction is achieved by gravitational in-crease on basins which are in part mixed with basins from upper mantle source. Depths to oceanic crust are indicated by heavy dashed line. T is intruded by land of sediment and mixed sedi-ment beach. Thin northern gulf subprovince prob-ably overlies oceanic or suboceanic water depths. T is interpreted as Guaymas Basin (B) is interpreted

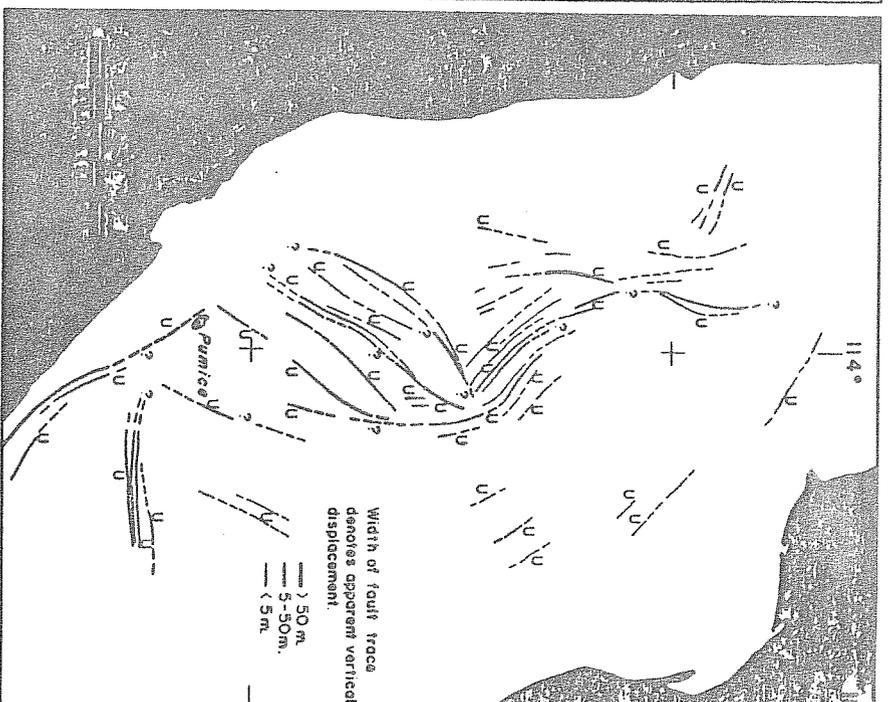
to fill plate-edge gaps which must be fed by turbidity currents (dashed arrows) as suboceanic depths and spreading-center troughs develop. Role of clastic compaction is small as basins rise to near oceanic levels to achieve isostatic compensation. Depths to velocity interfaces are from Phillips (1964). Clastics are absent from typical oceanic section (C) as a mouth of gulf, and isostatic compensation is entirely through rise of mantle-derived oceanic layers.

Fig. 71c (Moore, 1973)

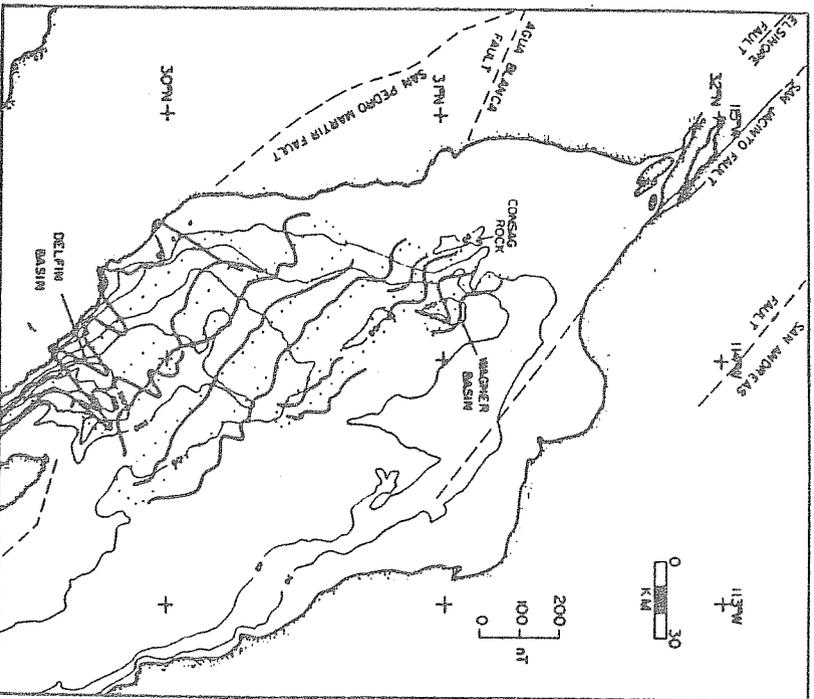


Bathymetric map of the northern Gulf of California based on continuous seismic profiling.

Fig. 72 (Henry, 1973)



Fault map of the northern Gulf of California. Note that line width indicates approximate apparent vertical displacement. Dashed lines and queries indicate where fault relations and extensions are questionable; U indicates upthrown side. Regions discussed as upper and lower Wagner and Delphin basins in text are also shown on this map. Further details of cropping of hypoxic Pamlico discussed in text are shown in Figure 6.



Magnetic profiles perpendicular to the strike of the proposed spreading centers in the northern Gulf of California. Ship tracks, shown by dots; faults, represented by dashes (from Rusnak and others, 1964). The bathymetry in fathoms is from Rusnak and others (1964). The magnetic profiles (heavy lines) have the ICRF (Cain and Cain, 1969; IAGA, 1969) removed but are not corrected for secular variations. The magnetic profiles are given in nanoteslas, the official SI units (National Bureau of Standards, 1972) where 1 nT = 1 γ.

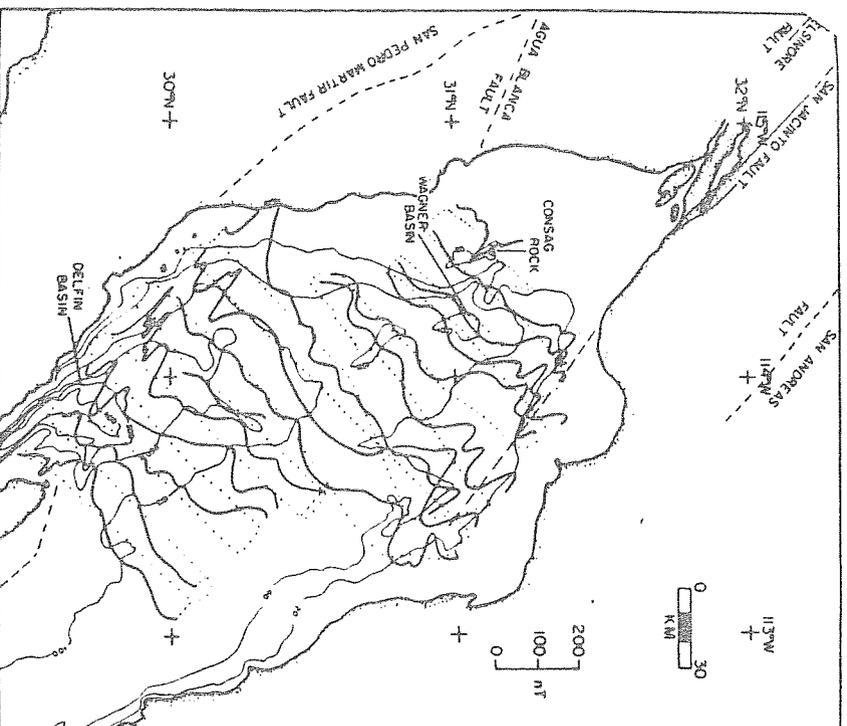


Fig. 73 (Klitgord, 1974)

che prosegue nel Wagner basin. (Heney 1973)

Lo stesso autore riporta numerosi profili sismici.

Le anomalie magnetiche presenti (Klitgord 1974) in questa area sono differenti da quelle tipiche simmetriche associate all'espansione dei fondali oceanici, tuttavia indicano la possibile esistenza di spreading nel Wagner basin (fig.73)

Anche i dati sismici confermano la presenza di crosta oceanica. Una forte anomalia è associata alla prosecuzione in mare della faglia di San Jacinto. Per il Delfin basin i dati magnetici sono meno chiari.

6.7.2 Settore centrale (Bischoff 1974, leg 64)

La parte centrale del golfo è dominata dalla presenza di 3 zone di frattura "en echelon". (fig.74)

La prima si estende dal Delfin basin attraverso il canale di Salsipuedes fino alla parte N del bacino di San Pedro Martir; la seconda dal settore SW del bacino di San Pedro Martir al fianco NE del Guaymas basin, e la terza a SE di quest'ultimo. Queste faglie formano la zona trasformata denominata "Guaymas fault zone". Ad alcuni segmenti di questa zona è associata una forte attività vulcanica. Nel bacino di Guaymas, e possibilmente in quello di San Pedro Martir hanno luogo processi di spreading.

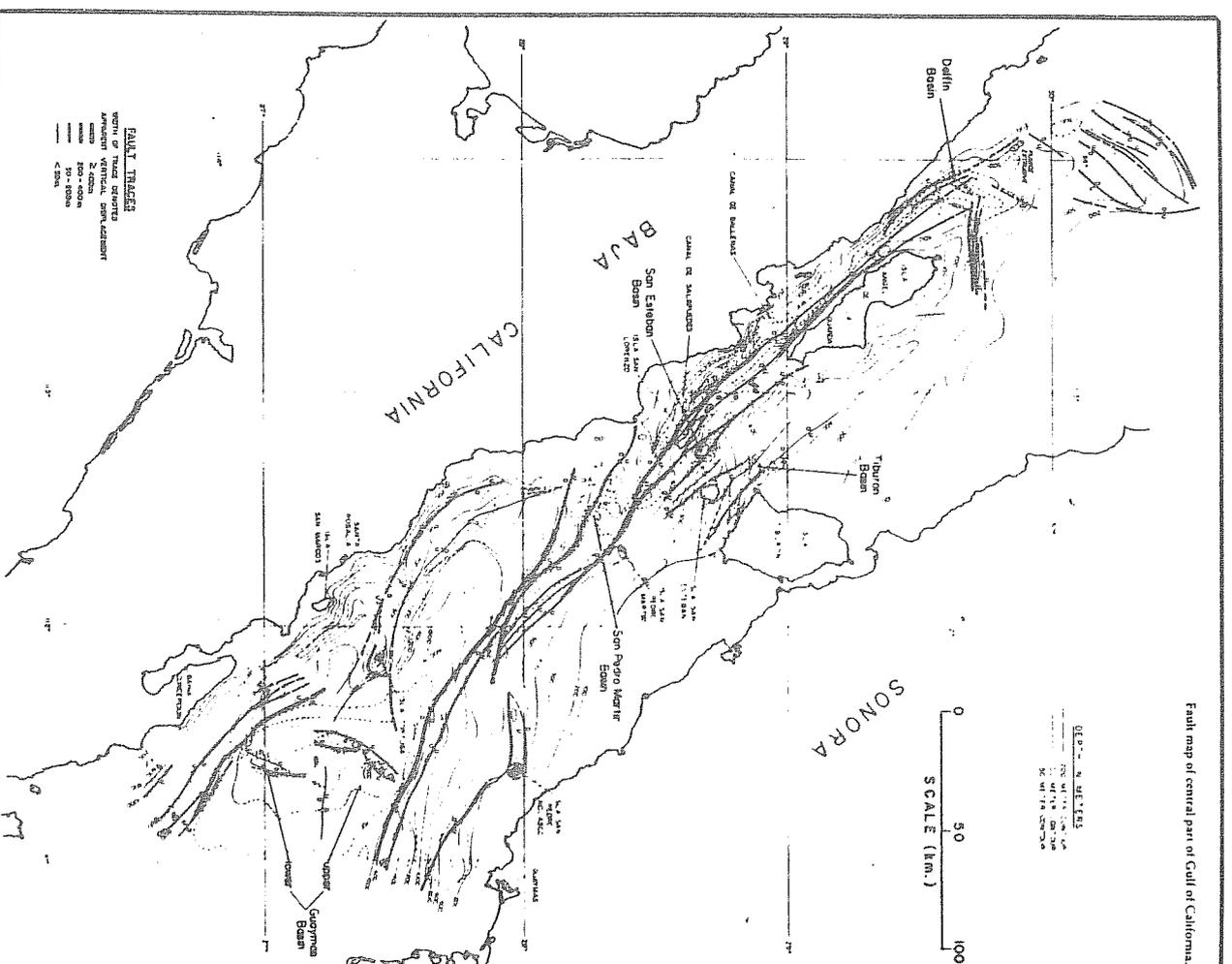


Fig. 74 (Bischoff, 1974)

-Bacino di Guaymas (Leg 64, Bischoff 1974)

Su questo bacino sono stati raccolti numerosi dati da più spedizioni oceanografiche (fig.75). Il bacino comprende due assi di spreading (fosse centrali) separati da una faglia trasforme lunga 20 Km. Le fosse sono caratterizzate da alto flusso di calore, da depositi idrotermali e da forti anomalie magnetiche positive; queste ultime presenti però esclusivamente nel segmento a N. Anche la morfologia indica processi tettonici in atto. Le fosse sono limitate a N e a S da faglie trasformi ortogonali agli assi di espansione. I 2 graben possiedono un'ampiezza di 3,5 Km e si sono formati negli ultimi 40.000 anni. L'intero bacino di Guaymas, parallelamente alla direzione di distensione, misura 275 Km circa. Calcolando un tasso di spreading di 6cm/anno, ha un'età di 4,5my, in accordo con il modello di apertura del Golfo a partire da circa 4my.

La presenza di 200m di sedimenti non disturbati sul fondo del bacino implica, secondo l'autore, che a partire da 1my la crosta si sia formata in modo discontinuo in diversi luoghi, in modo tale da non deformare i depositi menzionati.

Le 2 fosse presenti oggi rappresentano quindi l'attuale ma temporanea area dove ha luogo la distensione. I carotaggi eseguiti dal Leg 64 nel bacino (477,478,481)(fig.76) mostrano la presenza di una crosta complessa, caratterizzata da basalti, doleriti, silis gabbriici intrusi in diatomiti e torbiditi quaternarie.

Lungo la Guaymas slope (479,480)(fig.76) sono state carotate oozie a diatomee varvate dello spessore di 500m, il letto delle quali ha probabilmente 1my. La conservazione di questi depositi è legata alla presenza nel bacino di un minimo di Ossigeno.

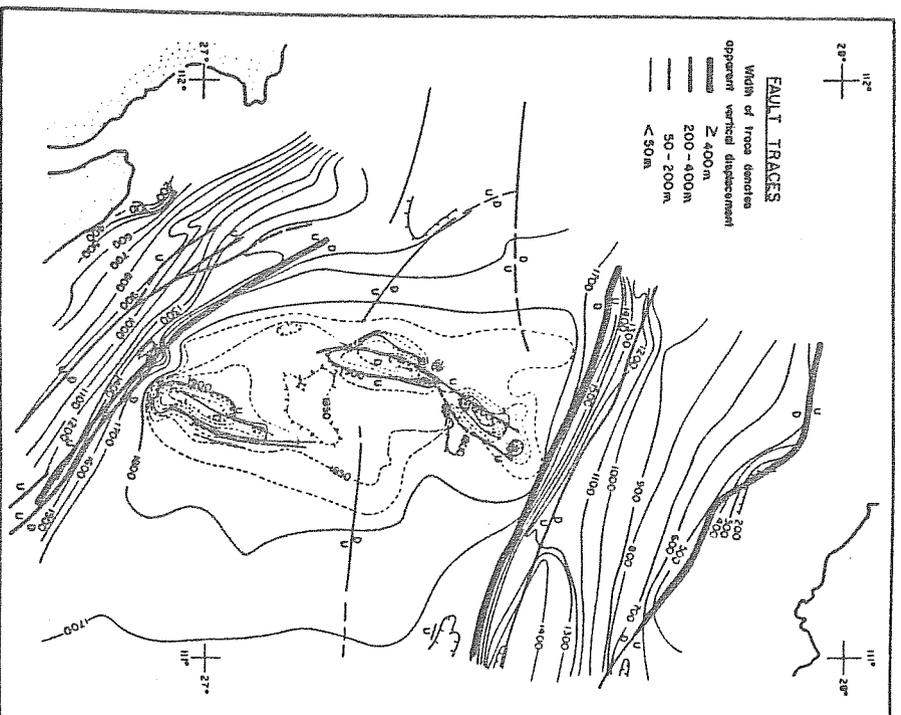


Fig. 75(Bischoff, 1974)

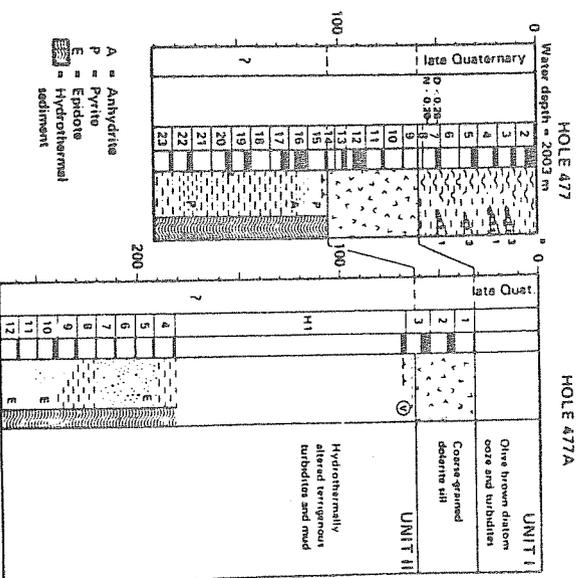
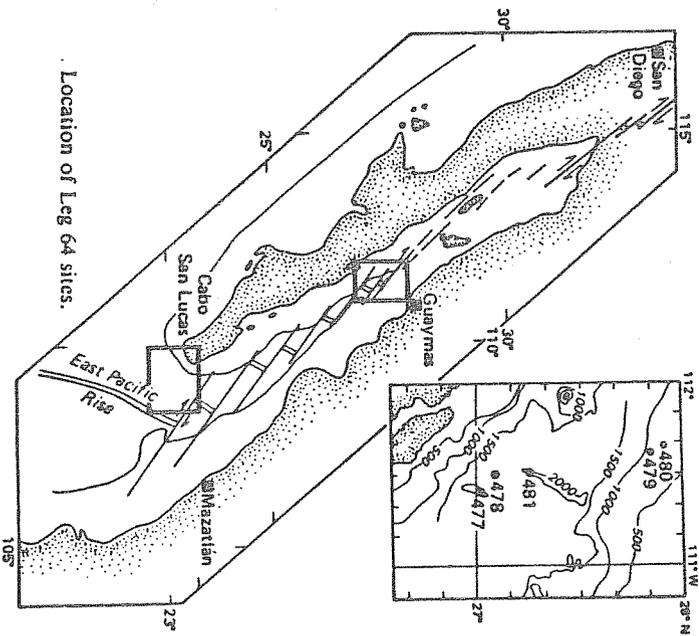
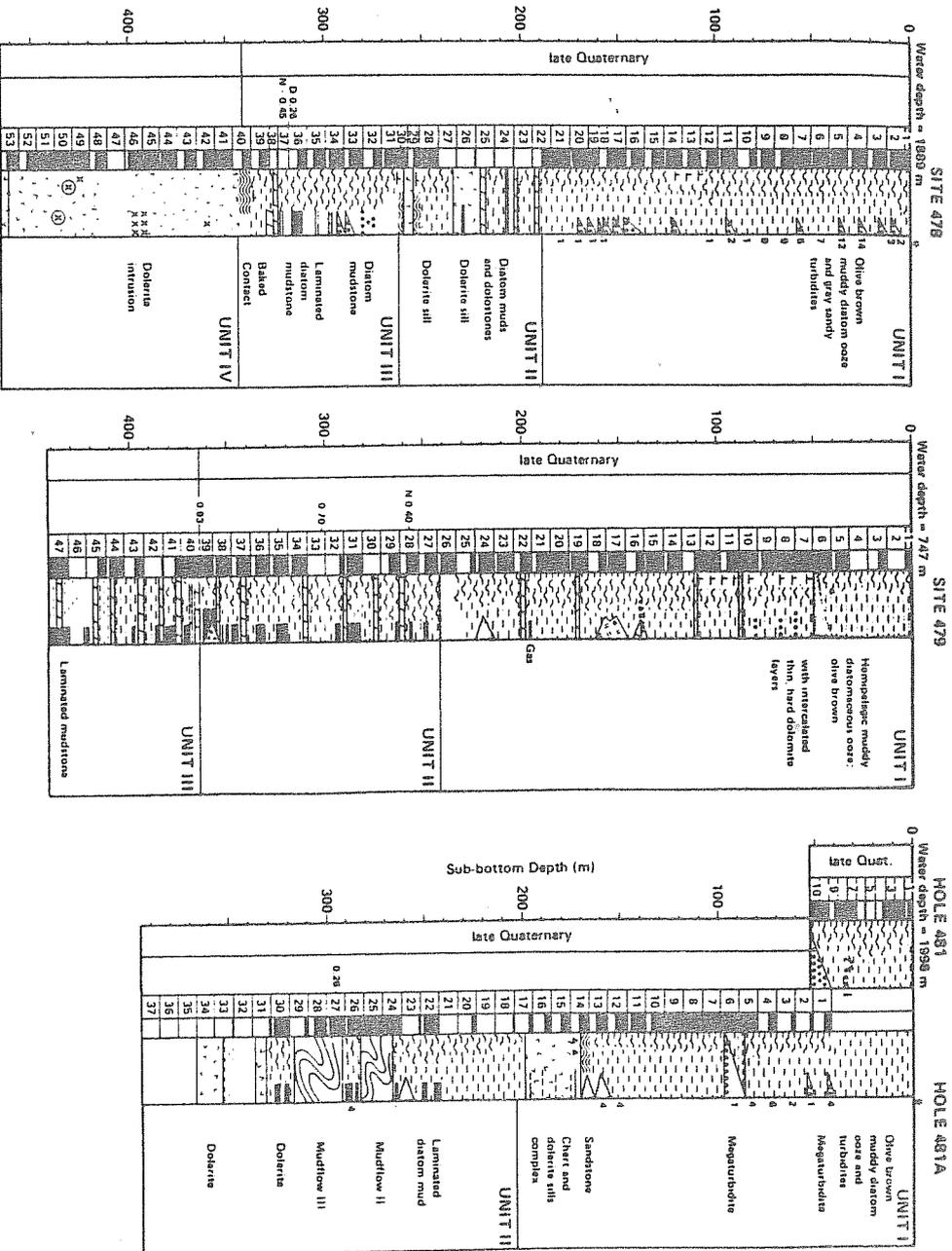


Fig. 76(Leg 64)

Isola Tortuga (Batiza 1978)

L'isola Tortuga rappresenta il cono terminale di un vulcano tholeitico pleistocenico formatosi lungo la zona di frattura connessa al bacino di Guaymas. (fig. 77)

Le colate presenti sull'isola, e probabilmente l'intero edificio, sono costituite da basalti tholeitici impoveriti in Li .

L'unica differenza tra le tholeitici oceaniche e quelle dell'isola di Tortuga è il maggior contenuto in Na di queste ultime. Non è ancora chiaro se il fenomeno sia dovuto all'assimilazione di alite o a caratteristiche primarie del magma.

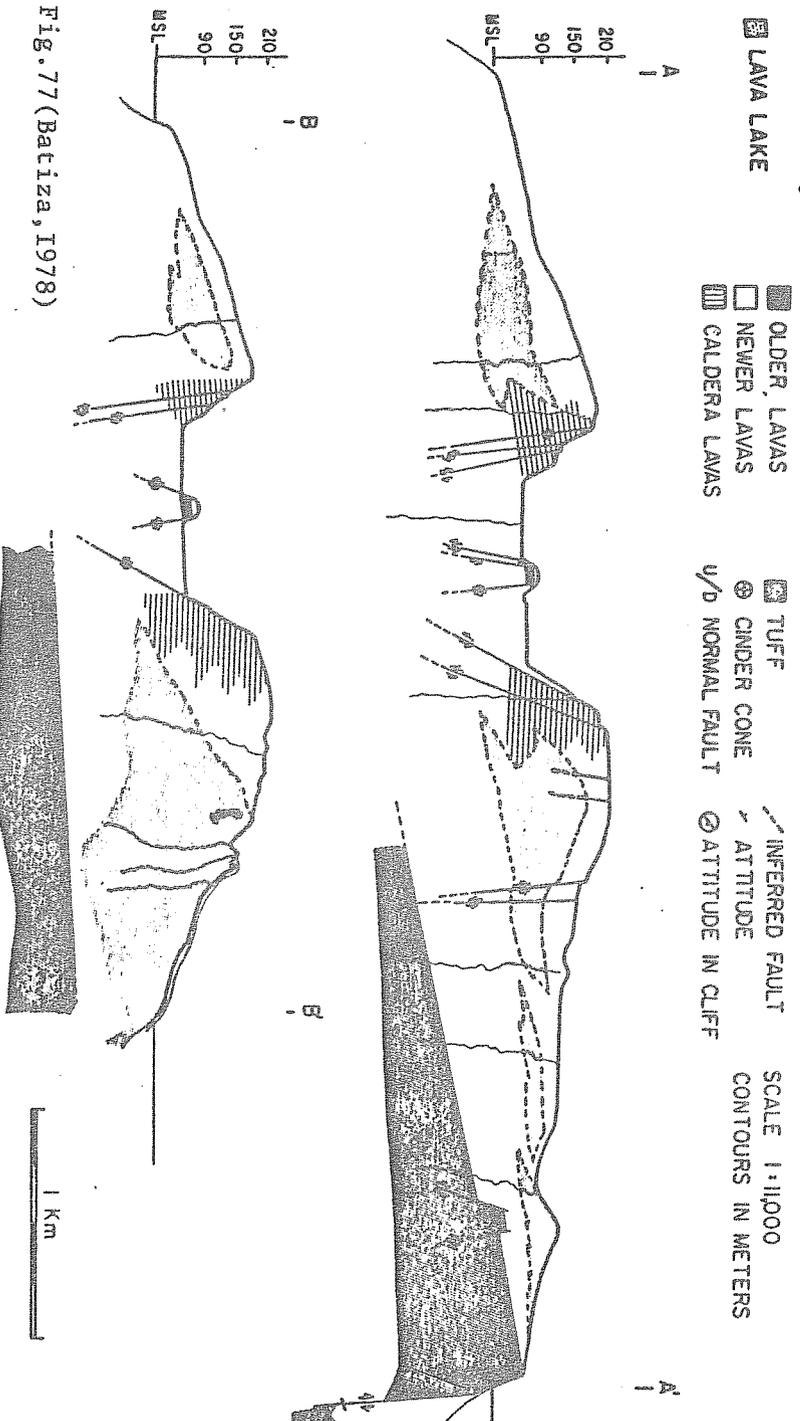


Fig. 77 (Batiza, 1978)

Geologic map of Isla Tortuga. Dashed line encloses area where ejecta fragments of Icelandic arc found. Talus deposits occupy areas of inner caldera wall where caldera lavas are not shown cropping out. Interpretative cross sections through Tortuga, same lithologic symbols as map; vertical exaggeration x 2.5.

6.7.3 Settore S (Larson 1972 a e b, Leg 64, Leg 65)

Nella fig. 78 viene rappresentata la topografia della parte centro-meridionale del golfo. Anche in questo caso in corrispondenza dei bacini più profondi vi sono anomalie magnetiche positive, dovute con tutta probabilità a zone di spreading connesse a bacini di pull-apart.

-Margine continentale a SE di Cabo San Lucas (Leg 64)

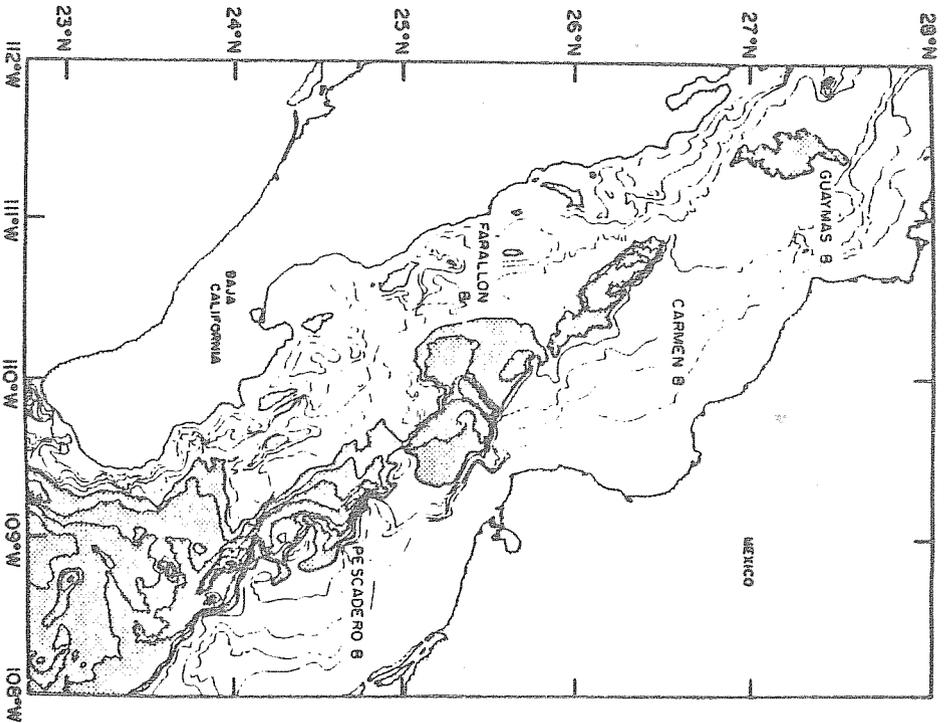
In tutti gli Hole sites i depositi pleistocenici sono costituiti da fanghi pelagici a diatomee, che ricoprono sedimenti simili più antichi. In uno dei 3 carotaggi è stata ritrovata crosta oceanica dell'età di 3,5my. (fig. 41)

-Bocca del Golfo

Nelle fig. 79 e 80 vengono riportate la topografia, le anomalie magnetiche della crosta oceanica formatasi lungo l'East Pacific Rise e le stratigrafie di alcuni carotaggi eseguiti nella zona di frattura di Tamayo (faglia trasforme) dal Leg 65.

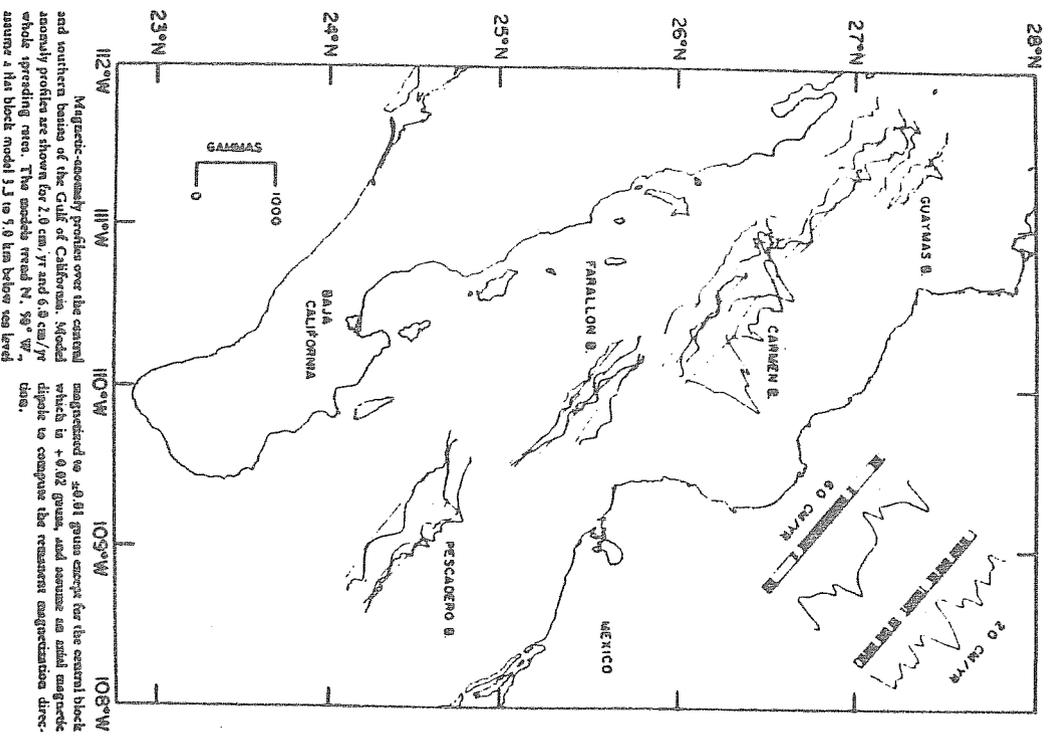
che avvengono lungo le dorsali oceaniche, in cui si assiste alla formazione di crosta con fasce di anomalie simmetriche, di età progressivamente più recente verso l'asse di espansione.

Ricordo che anche riguardo ai problemi inerenti questo settore del Golfo rimangono aperti molti quesiti e numerose incertezze (vedi Leg 63 p.919).



Bathymetry of the central and northern basins of the Gulf of California (after Rusanik and others, 1969). All depths below 1,000 fathoms ($\sim 1,829$ m) are stippled.

Fig. 78 (Larson, 1972b)



Magnetic-anomaly profiles over the central and northern basins of the Gulf of California. Modeled anomaly profiles are shown for 2.0 cm/yr and 6.0 cm/yr whole spreading rates. The modes (read N , $98^\circ W$, assume a flat block model) 1 J to 5 J below sea level

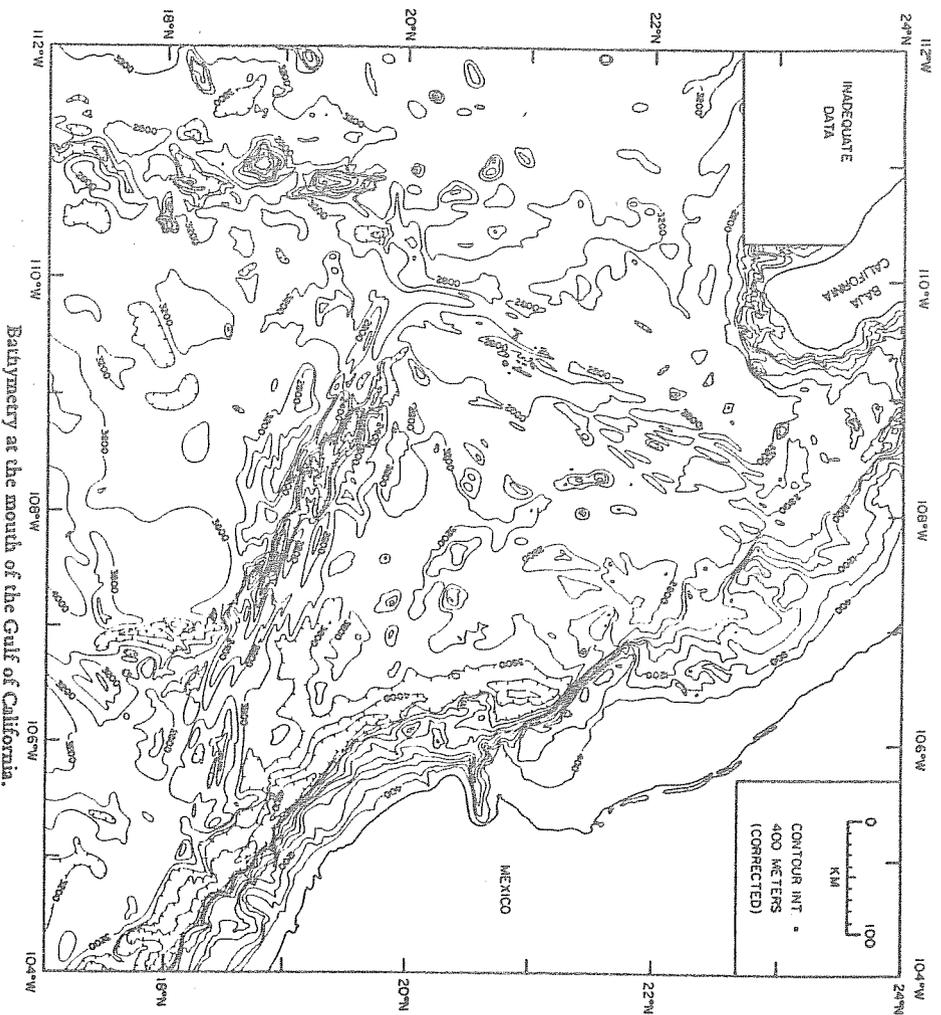
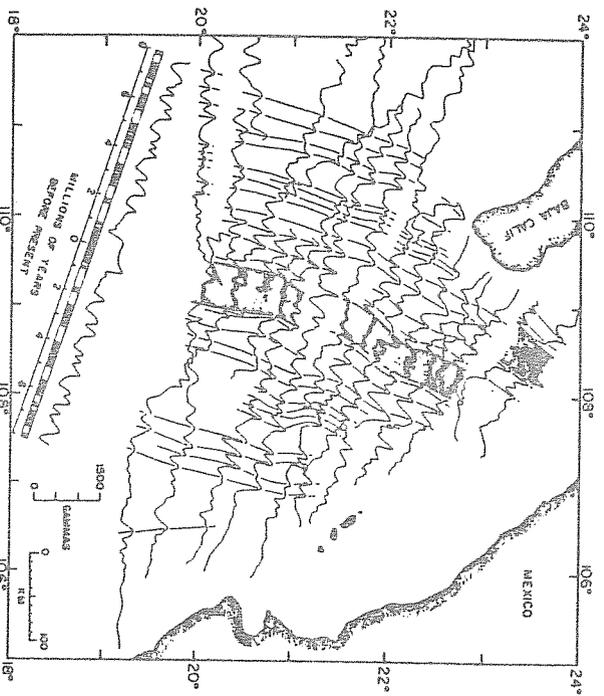
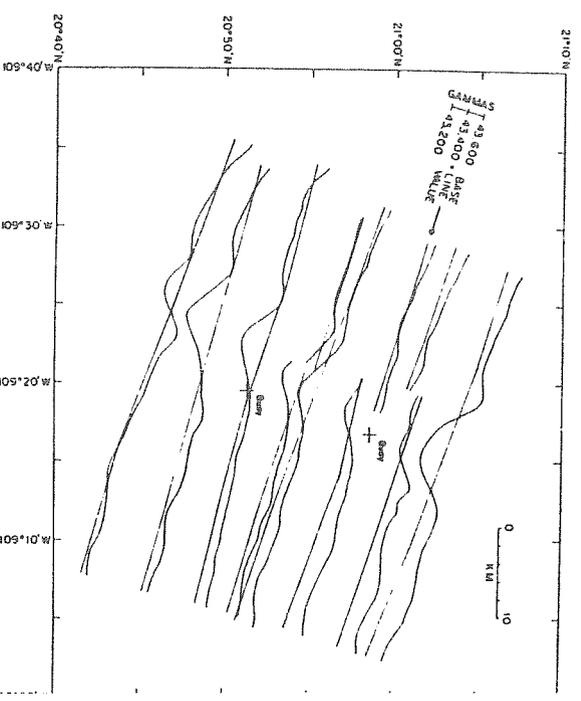


Fig. 79 (Larson, 1972a)

Bathymetry at the mouth of the Gulf of California.



Profiles of magnetic anomalies at the mouth of the Gulf of California. The shaded areas locate the central magnetic anomaly. The magnetic block model and the corresponding anomaly profile were constructed using the geomagnetic time scale of Heirtzler and others (1968) and a half-rate of spreading of 3.0 cm/yr. It differs from the model shown by Larson and others (1968) in that it employs the assumption of an axial magnetic dipole to compute the directions of the remanent magnetization vectors where Larson and others (1968) used the present-day magnetic field direction.



Total intensity magnetic profiles across the East Pacific Rise crest in the intensive survey area. The profiles were positioned with radar buoys.

6.8 TETTONICA (Gastil 1975, Molnar 1973)

La penisola della Bassa California, unitamente al Continental Borderland e al Golfo di California rappresenta una delle aree sismicamente più attive della terra. Nella fig.81 sono riportati gli epicentri dei terremoti di M maggiore di 4 avvenuti tra il 1958 e il 1968.²⁸

La diminuzione dei sismi verso S è dovuta, molto probabilmente, all'impossibilità di registrare piccole scosse dagli USA, piuttosto che a un calo dell'attività tettonica. Gli epicentri presenti alla bocca del Golfo formano un allineamento verso S che separa a E un settore praticamente privo di sismi.

Anche la zona di frattura di Guaymas mostra una forte sismicità.

A S di questo lineamento i terremoti seguono il margine continentale orientale del Golfo. La soluzione dei meccanismi focali (Molnar 1973, casi 7, fig.82, Gastil 1975, casi 2) indica nei 9 casi analizzati movimenti trascorrenti destri con Azimut compreso tra N 40°W e N 50°W. Nel Marzo 1969 a N del Wagner basin si è verificata una sequenza di terremoti in cui il main shock era composto da più di 70 sismi di M compresa tra 4 e 5,5. Gli epicentri erano localizzati nella crosta superiore a non più di 5-10 Km l'uno dall'altro. Il meccanismo focale indicava in questo caso una forte componente distensiva. Questa sequenza è stata interpretata come un ocean ridge-type swarm, e testimonia la presenza di un centro di espansione attivo.

Sulla penisola in parecchie località si possono ritrovare scarpate di faglia apparentemente molto giovani, che disticano depositi alluvionali recenti. Ne sono state osservate nella parte N della penisola, a S della valle di Las Palmas, a NE della valle di San Rafael lungo la faglia di San Michel, nella parte meridionale della Sierra San Pedro Martir, lungo i depositi alluvionali a W della Baia di San Luis Gonzaga e in molte località tra El Barril e Las Animas.

Scarpate molto recenti compaiono lungo la faglia a N di Punta Prieta (Gonzaga lineament), a S di Cerro Mesquitajal (NE di

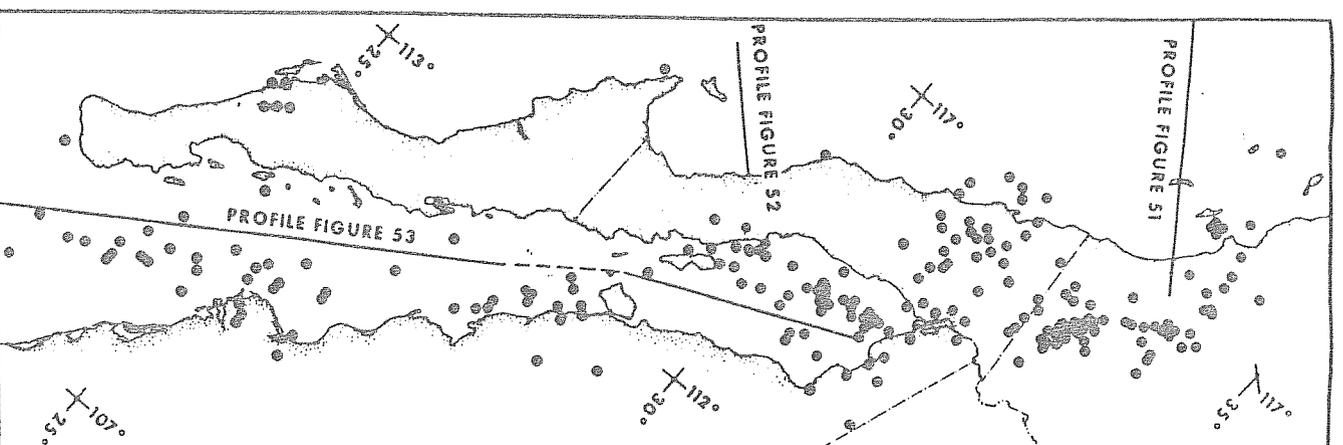


Fig.81(Gastil, 1975)

Guerrero Negro), e lungo la faglia di Agua Blanca. Anche le faglie dell'allineamento di Cerro Prieto sono ben evidenti per chilometri nel delta del Colorado. Alcuni terremoti, accompagnati da formazione di scarpate di faglia, sono stati registrati lungo la faglia di San Miguel nel 1956, lungo la faglia di Agua Blanca (a E della Laguna Salada), vicino alla

faglia di Cerro Prieto, nella Sierra Pinta e nella parte S della Sierra del Mayor. Le M sono comprese tra 6 e 6.8. Lungo la faglia di La Paz è stata registrata attività sismica solamente in mare nella parte più meridionale. Hausback (1984) ritiene comunque possibili movimenti recenti lungo questa. Le soluzioni del meccanismo focale e alcuni dati geologici (fig. 31) indicano che la faglia di La Paz è probabilmente una trascorrente sinistra, con componenti normali.

Lavoro consegnato Marzo 1985

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Prof. G. Pasquare' per avermi affidato questo incarico e per avermi seguito durante la sua realizzazione. Un grazie particolare al Dott. S. Chiesa per la costante collaborazione e i preziosi consigli. Ringrazio infine la Prof. M. B. Cita e il Prof. Orombelli per la revisione finale del manoscritto e per tutti gli aiuti prestati.

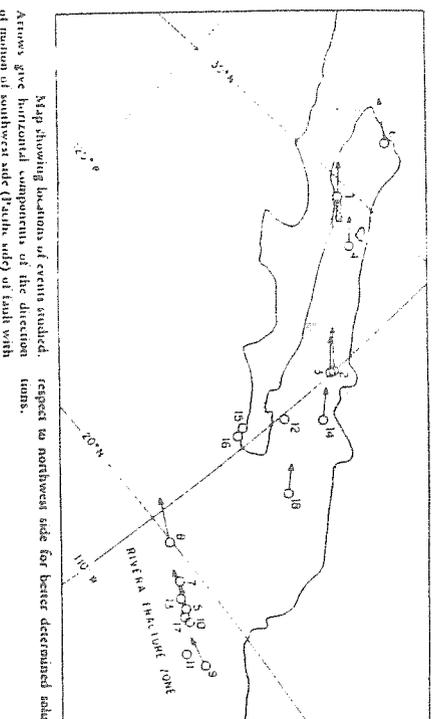


Fig. 82 (Molnar, 1973)

Bibliografia

Il seguente elenco comprende tutti i lavori raccolti sulla Bassa California fino al Marzo 1985.

Sono stati inclusi anche alcuni studi di interesse secondario, non citati nel testo.

Ricordo che sono disponibili pure carte geologiche e climatiche a scala 1:1.000.000, carte topografiche a scala 1:50.000, immagini da satellite, foto aeree e carte stradali.

Il materiale è conservato presso la Sezione di Geologia e Paleontologia e la Sezione di Fisica Terrestre del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Milano.

- Abbot P.L., Minch J.A., Peterson G.L. 1976 Pre-Eocene Paleosol South Of Tijuana, Baja California, Mexico: *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol.46, No.2, p.355-361
- Allen C.R., Silver L.T., Stehli F.G., 1960 Agua Blanca Fault-A Major Structure Of Northern Baja California, Mexico: *Geol.Soc.Am; Bull.*, v.71, p.457-482
- Angelier J., Colletta B., Chorowicz J., Ortiab L., and Rangin C., 1981 Fault tectonics of the Baja California Peninsula and the opening of the Sea of Cortez, Mexico: *Journal of Structural Geology*, Vol.3, NO; 4, p.347-357
- Aranda Gomez J.J., 1984 Reconnaissance Geology Of Punta Coyotes, B.C.S., Mexico: in corso di stampa *Se.p.m Pacific Section*
- Atwater T., 1970 Implications of Plate Tectonics for the Cenozoic Tectonic Evolution of Western North America: *Geol.Soc.Am.Bull.*, v.81, p.3513-3536
- Barnes D.A., 1984 Volcanic Arc Derived, Mesozoic Sedimentary Rocks Vizcaino Peninsula, Baja California Peninsula: *Pacific Section, Se.p.m.*, Vol.39, p.119-130
- Batiza, Rudie, 1978, Geology, petrology, and geochemistry of Isla Tortuga, a recently formed tholeiitic island in the Gulf of California: *Geol.Soc.Am.Bull.*, v.89, p. 1309-1324
- Beal, C.H., 1948, Reconnaissance of the geology and oil possibilities of Baja California, Mexico: *Geological Society of America Memoir* 31, 138p.
- Berry K.D., Miller P.L., 1984 Mesozoic Biostratigraphy, Vizcaino Peninsula And Cedros Island, Baja California Sur, Mexico: in Frizzell V.A., 1984 *Geology of the Baja California Peninsula: Pacific Section, Se.p.m.*, Vol.39, p.67-87
- Bischoff J.L., Thomas L., Henyey, 1974 Tectonic Elements of The Central Part of the Gulf of California: *Geol.Soc.Am.Bull.*, v.85, p.1893-1904
- Boehm M.C., 1984 An Overview Of The Lithostratigraphy, Biostratigraphy, and Paleoenvironments of The Late Neogene San Felipe Marine Sequence, Baja California, Mexico: in Frizzell V.A., 1984 *Geology of the Baja California Peninsula: Pacific Section Se.p.m.*, Vol.39, p.253-265
- Chase C.G., Menard H.W., Larson R.L., Sharnan III G.P., Smith S.M., 1970 History of Sea-Floor Spreading West of Baja California: *Geol.Soc.Am. Bull.*, v.81, p.491-498
- Chorowicz J., Rangin C., 1982 Essai de cartographie geologique de la Basse Californie obtenue a partir de l'analyse des images spatiales: methodes et resultats: *Bull.Soc.geol. France*, 1982,(7), t.XXIV, n.1, p.139-143
- Clark, K.F., 1976, Geologic section across Sierra Madre Occidental, Chihuahua to Topolobampo, Mexico: *New Mexico Geological Society Special Publication* No. 6, p.26-38
- Colletta, Bernard, and Angelier, Jacques, 1983, Tectonique cassante du nord-ouest Mexicain et ouverture du Gulf of California, in Popoff, M., and Tiercelin, J. J., eds., *Rifts et fossés anciens: Tectonique-volcanisme-sédimentation*, apports de l'actualis, p.433-441
- Crouch J.K., 1981 Northwest Margin of California Continental Borderland: Marine Geology and Tectonic Evolution: *The Amer.Assoc.of Petroleum Geologists Bulletin*, p.191-218
- Curry J.R., 1984 *Geologic And Tectonic History Of The Gulf of California*: in corso di stampa (rassunto)
- Demant, A., and Robin, C., 1975, Las Facies del Volcanismo en Mexico: Una Síntesis en Relación con la Evolución Geodinámica Desde el Cretácico: *Revista Instituto Geología Universidad Autónoma de México*, 75(1)83

- Dickinson W.R., Snyder W.S., 1979 Geometry of Subducted Slabs Related To San Andreas Transform: Journal of Geology, vol.87, p.609-627
- Dokka R.K., Merriam R.H., 1982 Late Cenozoic extension of northeastern Baja California, Mexico: Geol.Soc. Am.Bull., v.93, p.371-378
- Duffield W.A., 1968 The Petrology and Structure of the El Pinal Tonalite, Baja California, Mexico: Geol.Soc. A, v.79, p.1351-1374
- Elders W.A.,? The Geological Background Of The Geothermal Fields Of The Salton Trough:?
- Flynn C.J., 1970 Post-Batholitic Geology of the La Gloria-Presa Rodriguez Area, Baja California, Mexico: Geol.Am.Soc.Bull.,v.81,p.1789-1806
- Frizzell V.A., 1984 The Geology Of The Baja California Peninsula W Pacific Section, S.E.P.M., Vol.39
- Fujiwara R.W., 1984 Biostratigraphy Of The Tepetate Formation, Baja California Del Sur: in corso di stampa S.e.p.m Pacific Section(Riassunto)
- Gaitan M.J., Rosales E.C., 1980 La Region del Cabo, Baja California Sur: Panorama, Univ.Auton.Baja California a Sur, No.18; p.14-18
- Gastil, R.G., Phillips, R.P., and Allison, E.C., 1975, Reconnaissance geology of the State of Baja California: Geological Society of America Memoir 140, 170p.
- Gastil, R.G. and others, 1976, La Zona Batolítica del sur de California y el Occidente de México: Boletín Societe Geologica Mexicana, v.37, p.84-90
- Gastil, R.G., and Krummenacher, D., 1977, Reconnaissance geology of coastal Sonora between Puerto Lobos and Bahía Kino: Geol. Soc. Am. Bull. v.88, p.189-198
- Gastil, G., Krummenacher, D. and Minch, J., 1979, The record of Cenozoic volcanism around the Gulf of California: Geol.Soc.Amer.Bull, v.90,p.839-857
- Gastil, R.G., Krummenacher, D., and Jensky, W.A., 1979, Reconnaissance geology of westcentral Nayarit, Mexico: Summary: Geol. Soc. Am. Bull. v.80, p.15-18
- Graham S.A., McCloy C., Hitzman M., Ward R., Turner R., 1984 Basin Evolution During Change from Convergent to Transform Continental Margin in Central California: The Amer. Assoc. of Petroleum Geologists Bulletin v.68, No.3, p.233-249
- Hamilton W., 1961 Origin of the Gulf of California: Geol.Soc.Am. Bull., v.72, p.1307-1318
- Hamilton W., 1971 Recognition on Space Photographs of Structural Elements of Baja California: Geological Survey Professional Paper 718
- Hausback B.P., 1984 Cenozoic Volcanic And Tectonic Evolution of Baja California Sur, Mexico: in Frizzell V.A., 1984 Geology of the Baja California Peninsula: Pacific Section, S.E.P.M., Vol.39, p.219-236
- Hawkins, J.W., 1970, Petrology and possible tectonic significance of late Cenozoic volcanic rocks, southern California and Baja California: Geol. Soc. Am. Bull. v.81, p. 3323-3338
- Helenes J., 1984 Dinoflagellates From Cretaceous To Early Tertiary Rocks Of The Sebastian Vizcaino Basin, Baja California, Mexico: in Frizzell V.A., 1984 Geology of the Baja California Peninsula: Pacific Section, S.E.P.M., Vol.39, p. 89-106
- Henry, T.L., and Bischoff, J.L.1973, Tectonic elements of the northern part of the Gulf of California: Geol. Soc. Am. Bull., v.84, p.315-330
- Ingle, J.C., 1984 Neogene Marine Stratigraphy And History Of The Gulf Of California: in corso di stampa (Riassunto)
- Ives R.L., 1962 Dating of the 1746 Eruption of Tres Virgenes Volcano, Baja California del Sur, Mexico: Geol.Soc.Am.Bull., v.73, p.647-648
- Kabanow R.I., Surdam R.C.,? Diagenesis And Hydrocarbon Generation In The Monterey Formation, Huasna Basin, California:?
- Karig, D. E., and Jensky, W., 1972, The Proto-Gulf of California: Earth and Planetary Science Letters, v. 17, p. 169-174
- Kelts K., 1981 A comparison of some aspects of sedimentation and translational tectonics from the Gulf of California and the Mesozoic Tethys, Northern Penninic Margin: Eclogae geol. Helv., Vol.74/2, p.317-338
- Klitgord, K.D., Mudie, J. D., Bischoff, J. L., and Henry, T. L., 1974 Magnetic anomalies in the northern and central Gulf of California: Geol. Soc. Am. Bull., v.85, p. 815-820

- Klitgord, K. D., and Mammerickx, Jacqueline, 1982, Northern East Pacific Rise: Magnetic anomaly and bathymetric framework: *Journal of Geophysical Research*, v. 87, no. 38, p. 6725-6750
- Krause D. C., 1965 Tectonics, Bathymetry and Geomagnetism of the Southern Continental Borderland West of Baja California, Mexico: *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 76, p. 617-650
- Larson, R., 1972 Bathymetry, magnetic anomalies, and plate tectonic history of the mouth of the Gulf of California: *Geol. Soc. Am. Bull.*, v.83, p. 3345-3360
- Larson, P. A., Mudri J. D., Larson R. L., 1972, Magnetic Anomalies and Fracture Zone Trends in the Gulf of California: *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 83, p. 3361-3368
- Ledsma-Vasquez J., 1984 Mechanisms of Sedimentation For A Facies of The Upper Cretaceous Rosario Formation, Baja California, Mexico: in Frizzell V.A., 1984 *Geology of the Baja California Peninsula*; Pacific Section S.E.P.M., Vol. 39, p. 193-195
- Leg 63, 1981 Initial Reports of D.S.D.P., v. LXIII
- Leg 64, 1982 Initial Reports of D.S.D.P., v. LXIV
- Leg 65, 1983 Initial Reports of D.S.D.P., v. LXV
- Lira H., Ramirez S., Herrera F., Vargas L., 1984 Estudio Geologico de zona geotermica de Las Tres Virgenes Baja California Sur, Mexico: Neotectonics and Sea Level variations in the Gulf of California Area, a Symposium, Univ. Nat. Auton., Mexico, Inst. Geologia Mexico D.F.
- Livaccari, R. F., 1979 Late Cenozoic tectonic evolution of the western United States: *Geol.*, v.7, p.72-75
- Luyendyik, B.P., Kamingling M. J., Terres R., 1980 Geometric model for Neogene crustal rotations in southern California: *Geol. Soc. Am. Bul.*, v. 91, p. 211-217
- Malpica-Cruz V., Celis-Gutierrez S., Guerrero Garcia J., Ortlieb L., 1984 Contributed papers for the Symposium on "Neotectonics And Sea Level Variations In The Gulf of California Area" : publicado da Instituto de Geologia Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico D. F., April 1984.
- Mammerickx, Jacqueline, and Klitgord, K. D., 1982, Northern East Pacific Rise: Evolution from 25 m.y. b.p. to the Present: *Journal of Geophysical Research*, v. 87, no. 88, p. 6751-6759
- McCloy C., 1984 Depositional Facies And Tectonic History of the San José Del Cabo Trough and DSDP 474, 475, and 476, Baja California Sur, Mexico: Neotectonics and Sea Level Variations in the Gulf of California area, a Symposium Univ. Nat. Auton., Mexico Inst. Geologia, Mexico D.F., p. 191-202
- McDowell, F. W., and Keizer, R. P., 1977, Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlan, Mexico: *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 88, p. 1479-1487
- McDowell F.W., Clabaugh S.E., 1979 Igneimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of Western Mexico: *Geol. Soc. Am. Special Paper 180*, p. 113-124
- McLean, High, Barron J. A., Hausback, B. P., 1984 The San Gregorio Formation of Baja California Sur, Mexico, Is Late Oligocene: in corso di stampa, S.E.P.M., Pacific Section.
- Miall A. D., 1984 Principles of Sedimentary Basin Analysis Springer-Verlag.
- Molnar P., 1973 Fault Plane Solutions of Earthquakes and Direction of Motion in the Gulf of California and on the Rivera Fracture Zone: *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 84, P. 1651-1658
- Moore, David G., 1973, Plate-edge deformation and crustal growth, Gulf of California, structural province: *Geol. Soc. Am. Bull.*, v.84, P. 1883-1906
- Muhs D.R., 1983, Quaternary Sea-Level Events on Northern San Clemente Island, California: *Quaternary Research 20*, p. 322-341
- Mulhern M. E., Eacmen J. C., Lester G. K.,? *Geology and Oil Occurrence Of Displaced Diatomite Member, Monterey Formation-Mckittrick Oil Field.*
- Nardin T.R., Edwards B.D., Gorsline D.S., 1979 Santa Cruz Basin, California Borderland: Dominance of Slope Processes in Basin Sedimentation: S.E.P.M Special Publication No. 27, p. 209-221
- Normark, W.R., and Curray, J.R., 1968, Geology and structure of the tip of Baja California, Mexico: *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 79, p. 1589-1600
- Ojeda J., 1979, Resumen de datos estratigraficos y estructurales de la Formacion Monterrey que aflora en el area de San Hilario, Baja California Sur: *Geomimet*, no. 100, p. 51-83

- Ortlieb L., 1984 Field-Trip Guidebook prepared for the Symposium on "Neotectonics And Sea Level Variations In The Gulf Of California Area", Publicado da: Instituto de Geologia Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico D.F. April, 1984
- Ortlieb L., Colletta B., 1984 Sintesis Cronoestratigrafica Sobre El Neogeno Y El Cuaternario Marino De La Conca De Santa Rosalia, Baja California Sur, Mexico: Neotectonics and Sea Level Variations in the Gulf of California area, a Symposium, Univ. Nat. Auton., Mexico Inst. Geologia Mexico D.F.
- Pantoja A., Carrillo B., 1966 Bosquejo Geologico de la Region de Santiago-San José del Cabo, Baja California: Bol. Assoc. Mexicana Geol. Petrol. 18 (1-2)
- Patterson D.L., 1984 Los Chapunes And Valle Sandstones: Cretaceous Petrofacies Of The Vizcaino Basin, Baja California, Mexico: in Frizzell V.A., 1984 Geology of the Baja California Peninsula: Pacific Section, S.E.P.M., Vol. 39, p. 161-171
- Patterson D.L., 1984 Paleomagnetism Of The Valle Formation And The Late Cretaceous Paleogeography Of The Vizcaino Basin, Baja California, Mexico: in Frizzell V.A., 1984, Geology of the Baja California Peninsula: Pacific Section, S.E.P.M., Vol.39, p. 173-182
- Piper D.Z., Isaacs C.M., Rude P.D., 1984 Major and Minor-Element Composition Of Phosphorites From The San Gregorio Formation, Baja California Sur: in corso di stampa S.E.P.M Pacific Section.
- Rusnak G.A., Fisher R.L., and Shepard, F.P., 1964, Bathymetry and faults of Gulf of California, in van Andel, Tj. H., and Shor, G. G., Jr., eds., Marine geology of the Gulf of California: Am. Assoc. Petroleum Geologists Mem. 3, p. 59-75
- Sawlan M.C., Smith J.C., 1984 Petrologic Characteristics, Age And Tectonic Setting Of Neogene Volcanic Rocks In Northern Baja California Sur, Mexico: in Frizzell V.A., 1984 Geology of the Baja California Peninsula: Pacific Section, S.E.P.M., Vol.39, p. 237-251
- Smith J.T., 1984 Miocene and Pliocene Marine Mollusks and Preliminary Correlations, Vizcaino Peninsula To Arroyo La Purissima, Northwestern Baja California Sur, Mexico: in Frizzell V.A. 1984, Geology of the Baja California Peninsula: Pacific Section S.E.P.M., Vol.39, p.197-217
- Snyder W.S., Brueckner H.K., Schweickert R.A.,? Deformational Styles In The Monterey Formation And Other Siliceous Sedimentary Rocks:?
- Stewart J.H., 1978 Basin-range structure in Western North America: A review: Geol. Soc. Am. Mem.152
- Swanson E.R., Keizer R.P., Lyons J.I., Clabaugh S.E., 1978 Tertiary volcanism and caldera development near Durango City, Sierra Madre Occidental, Mexico: Geol. Soc. Am. Bull., v. 89, p. 1000-1012
- Woods A., 1980 Geomorphology, Deformation, and Chronology of Marine Terraces along the Pacific Coast of Central Baja California, Mexico: Quaternary Research 13, p. 346-364

