

L'ESTRUCTURA DE LA FAÇANA ORIENTAL DE LA PENÍNSULA DE CAP NORFEU (ROSES)

Ona Juan Bachs

Treball de fi de grau

MIET-Grup de recerca, Dept. de Geologia, UAB

Tutor: Jordi Carreras

Abstract: *The eastern slopes off the Cap Norfeu peninsula show a exceptional outcrops of folds affecting a calcareous-detrital sequence (metaconglomerates and marbles) of Cambrian age. Performed analysis using photo taken at variable distance enabled to identify the global and detailed structure. This study was completed with field work analysis for checking lithologies and taking structural measurements. Small sized structures were identified emphasizing the role of rheology in rock deformation. This information permitted to know the geological polyphasic evolution evidenced by the presence of fold interference patterns. This structure corresponds to an antiform and not to a synclinal as drawn in the geological map (ICC). Because of the fact that Cap Norfeu is a integral protected area and a geological site the presence of other heritage values (landscape, geomorphological and historical-cultural character) have been considered.*

Resum: *Els penya-segats orientals de Cap Norfeu presenten un aflorament molt excepcional que mostra plecs que afecten la seqüència calcarea-detrítica (metaconglomerats i marbres) atribuïts al Cambrià. L'anàlisi a partir de fotografies realitzades tant de detall com a distància, ha permès identificar la seva estructura geològica general i relativament detallada. Amb l'anàlisi de camp s'han acabat de completar les qüestions no resoltes a partir de l'anàlisi fotogràfica com són la identificació de les litologies o la presa de cabussaments. També s'han identificat estructures menors que il·lustren el paper de la reologia en la deformació de les roques. Amb aquesta informació s'ha plantejat l'evolució geològica que evidencia l'existència d'una tectònica polifàsica amb formes d'interferències de plecs. L'estructura resultant es correspon amb una disposició antiforme que no es correspon amb el sinclinal representat en el mapa geològic del ICC. Al estar Cap Norfeu considerat una zona de reserva integral i també un espai d'interès geològic, també s'ha posat èmfasi en els valors patrimonials de tipus paisatgístic, geomorfològic i de caràcter històric-cultural.*

Introducció

La península de Cap de Creus constitueix una de les àrees de referència de la geologia de Catalunya pel que fa a la seva singularitat, qualitat i quantitat dels afloraments. Els valors patrimonials de caràcter geològic es troben en tots els nivells; des dels de tipus estètic i paisatgístic fins als de valors de referència en recerca, passant pels valors didàctic a diferent nivell. Així doncs, ha estat reconegut per nombrosos científics de trajectòria reconeguda a nivell internacional. La distingida geologia de la península de Cap de Creus s'ha tingut en compte a l'hora de definir el Parc Natural i s'observa amb la delimitació de les àrees de reserva integral. S'hi inclouen les zones o punts de major interès geològic (Fig.1) i el preàmbul de la llei expressa el següent: El coneixement

geològic d'aquest sector és menor que el que es té del sector septentrional ja que només s'en coneixen els trets generals (ICC, 1997 i Fig.3). La disposició dels materials en aquesta península ve condicionada per les estructures que en línies generals tenen una tendència EO. Això determina que la secció més adient per la interpretació de la geologia de la península es la que es produeix en la façana oriental de la península que consisteix en una costa abrupta amb elevats penya-segats difícilment accessibles des de terra (Figs. 3 i 4).

La manca d'un coneixement més detallat de la geologia ha motivat la conveniència de proposar una anàlisi de la geologia d'aquesta secció.

“Es tracta d'un espai natural de primer ordre, dotat

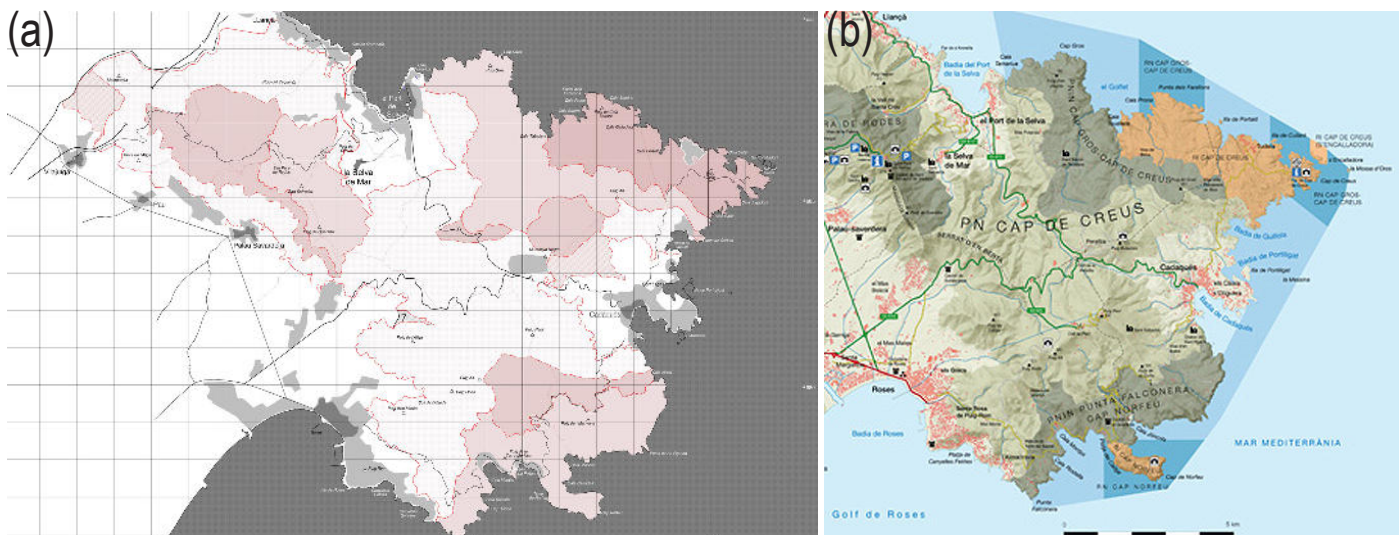


Fig.1. Zones de protecció integral del Cap de Creus. (a): Zonació proposada en base a criteris geològics (segons Carreras i Druget, 1993); (b) Protecció inclosa a la Llei 4/1998. En color ocre es mostren les àrees de protecció integral (font: http://www20.gencat.cat/docs/parcsnaturals/Home/Cap%20de%20Creus/Visitans/Guia%20de%20visita/Planol_CapdeCreus.pdf).

d'una singular configuració geològica, amb estructures i afloraments que formen un conjunt únic a nivell mundial, fonamental per a la comprensió de l'evolució geològica dels terrenys més antics de Catalunya.” (Llei 4/1998 de protecció de Cap de Creus).

De les dues àrees de protecció integral delimitades a la llei, la septentrional és la que conté les estructures més singulars i reconegudes a escala internacional. La majoria de publicacions se centren en aquesta regió, sobretot pel que fa a les zones de cisalla i a les seves estructures associades. Al sector SE de la península s'encontra la petita península de Norfeu (Fig.2) que va ser inclosa també com a reserva integral pel que fa als seus valors paisatgístics, geològics i botànics.

El Cap Norfeu es troba situat entre les badies de Jòncols, al N, i de Montjoi, al S. La península dibuixa una forma estreta allargada i corbada i s'endinsa dos kilòmetres mar endins, tancant pel nord el Golf

de Roses. El coneixement geològic d'aquest sector és molt menor en respecte al qual es té del sector septentrional, ja que només se'n coneixen els trets generals (Fig.3). Aquesta península té els materials orientats amb tendència EO, en general, i estan condicionats per les estructures majors. Això concreta que la secció més adient per a la interpretació de la geologia de la península és la que es troba a la façana oriental de la península, que consta d'una costa abrupta amb elevats penya-segats de difícil accessibilitat des de terra (Fig.4). De la falta d'aquest coneixement més detallat de la geologia d'aquesta península neix la proposta d'aquest estudi i treball.



Fig.2. Vista aèria de la península de Cap Norfeu (fotografia de J. Carreras).

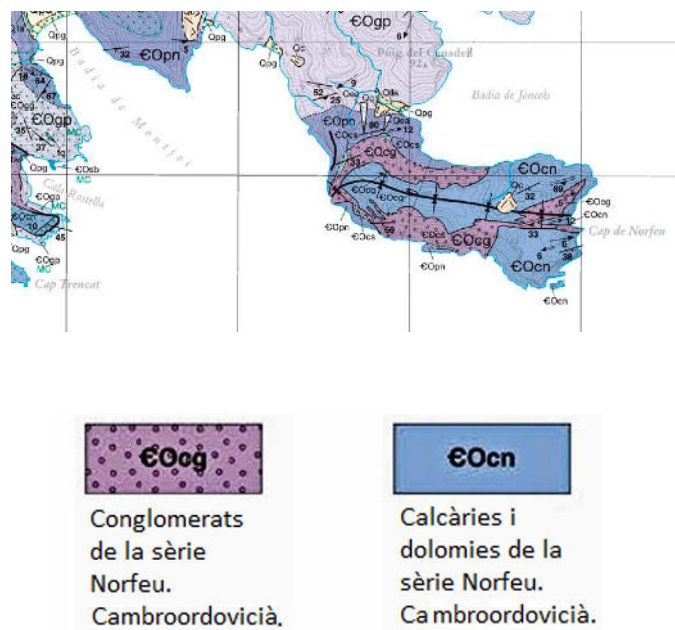


Fig.3. La geologia de la península de cap Norfeu segons el Full 259-1-1 Roses (1:25000).



Fig.4. Els penya-segats calcaris que formen l'extrem oriental de la península de Cap Norfeu (fotografia de J. Carreras).

Metodologia

Com s'ha mencionat anteriorment, la inaccessibilitat d'aquesta secció ha condicionat la metodologia seguida, la qual es basa en l'obtenció d'un mosaic de fotografies realitzades des de mar a distància variable. S'hi ha extret una secció geològica preliminar amb la integració de la informació a partir del reconeixement i interpretació de les estructures, mostrades en muntatges de grups de fotos a diferents escales. No obstant això, no totes les litologies són identificables en les fotografies ni tampoc la deducció de la disposició tridimensional dels elements estructurals. Per aquesta raó, també s'ha complementat la informació amb l'obtenció de dades sobre el terreny, també limitada a la part accessible per la part superior del penya-segat. Tot i així, afloren totes les litologies presents en la secció. A continuació es detalla breument el procediment seguit per a la confecció de la secció:

1. Obtenció de fotografies. S'ha realitzat mitjançant vaixell efectuant diferents travesses enfront de la costa a distància variable.
2. Processament de les fotografies. S'han generat noves imatges compostes per la superposició (tant vertical com horitzontal) de les imatges originals i s'han seleccionat grups d'imatges amb perpendicularitat màxima possible (en respecte a la secció) de cadascun dels segments de penya-segats fotografiats.
3. Integració de les fotografies. Per a l'obtenció del perfil de la secció amb la mínima distorsió, s'han utilitzat les fotografies fetes a màxima distància de la costa (aproximadament 1 milla nàutica = 1,72 km). Aquest s'ha encaixat també amb el perfil topogràfic obtingut mitjançant les eines de la cartografia ICC-Vissir. Amb petites deformacions de la fotografia escollida, s'han permès un encaix entre ambdós perfils constituint el que s'anomena secció de base (Fig. 5).
4. Els diferents mosaics fotogràfics i la interpretació de la geologia associada s'han encaixat en la secció de base utilitzant distorsions per encaixar, amb un mínim de 3 punts d'ancoratge.
5. Selecció de fotografies per detall. S'han seleccionat algunes fotografies de proximitat per mos-

trar elements geològics de detall que per les seves dimensions no són representables amb suficient detall a la secció de base.

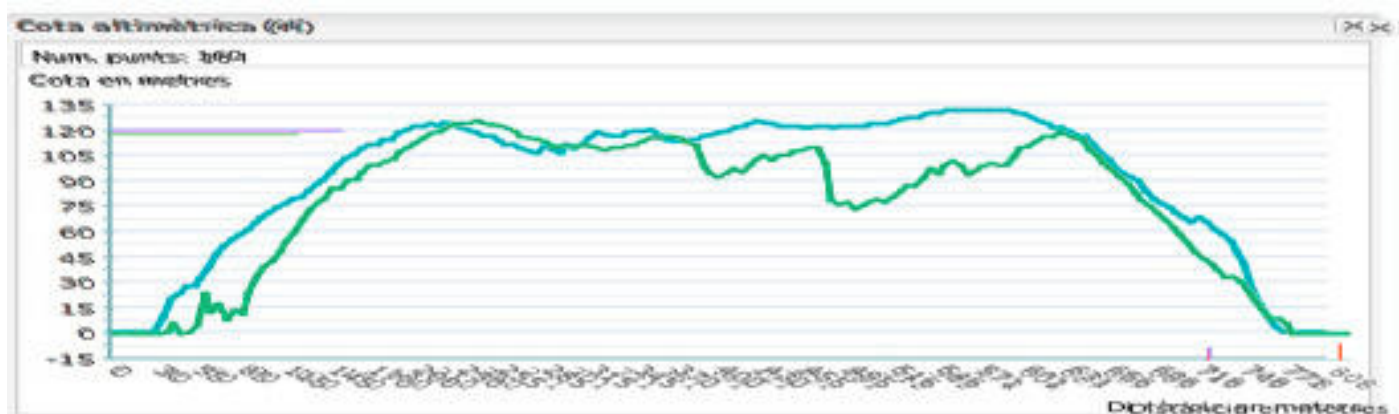
El programa utilitzat per al processament, la integració i l'encaixat de les fotografies és l'Adobe Photoshop C53 EXTENDED.

Un cop s'ha disposat de la secció geològica de base, s'ha complementat amb un dia de treball de camp seguint la metodologia convencional d'observació de cabussaments i reconeixement de materials amb més precisió.

(a)



(b)



(c)



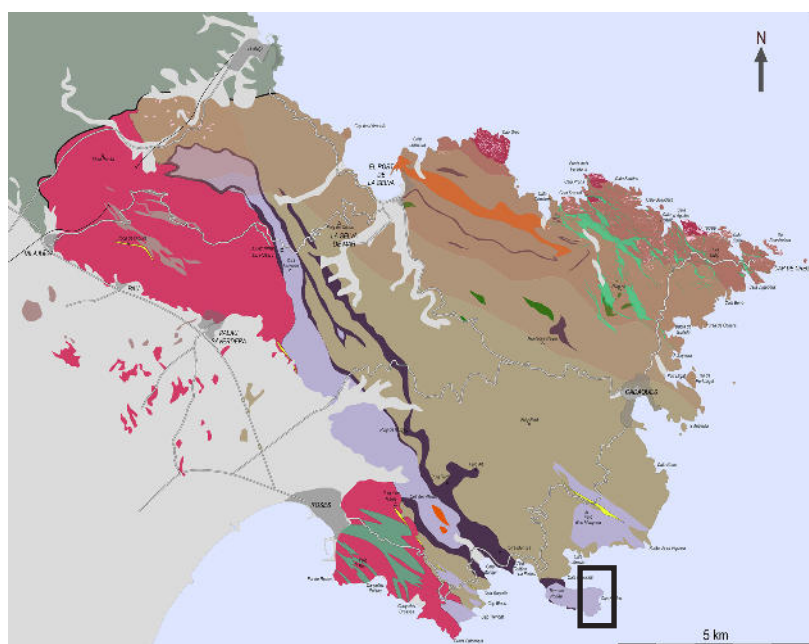
Fig.5. Obtenció del perfil base. (a): Fotografia realitzada a distància; (b): Perfils obtinguts mitjançant l'eina: ICC-Vissir: Editor/Dibuix de perfils. El blau correspon a la part més enlairada del penya-segat i el verd a un perfil paral·lel més proper al mar; (c): Encaix obtingut mitjançant lleugera deformació de l'imatge fotogràfica a fi d'encaixar-la en el perfil blau de "(b)".

Marc geològic

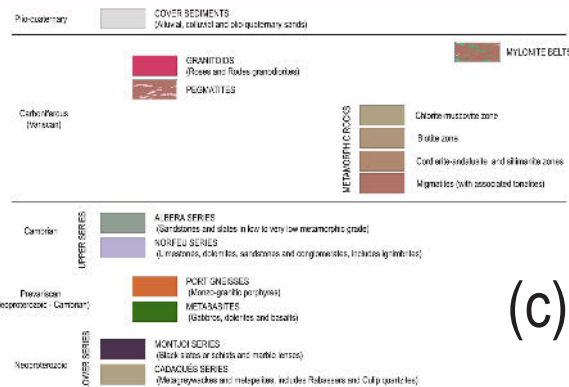
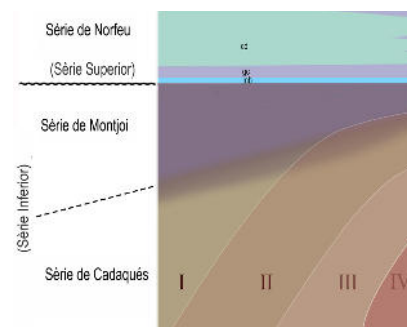
Cap de Creus forma els afloraments més de l'E de la Zona Axial dels Pirineus, afloraments atribuïts a l'orogènia Varisca, predominantment. La sèrie estratigràfica està composta per les Sèries inferiors, Montjoi i Cadaqués, i les Sèries Superiors, Norfeu i Albera. La Sèrie Cadaqués la formen especialment alternances de gresos pelítics amb predomini de grauvaques i la Sèrie Albera està composta per gresos i pissarres de baixa a alt grau de metamorfisme (les altres sèries es descriuen més endavant) (Fig.

6.a i 6.c). Entre les Sèries Superiors i Inferiors s'esdevé un episodi igni pre-varisc que, amb l'orogènia, es transformaran en gneissos (protòlit de composició granítica a quars-monzonítica) i metabasites (intrusions de gabre dolerític), al N i centre de Cap de Creus, respectivament. Durant l'orogènia Varisca, al Carbonífer, es formen plutons de granitoides, les anomenades granodiorites de Roses i Rodes, de composició també tonalítica, i pegmatites en eixams de dics o petites intrusions, al NO (Rodes) i S (Roses) i NE, respectivament. Com a conseqüència de la deformació també es formen cinturons milonítics al NE.

(a)



(b)



(c)

Fig.6. (a): Mapa geològic de la península de Cap de Creus; (b): Esquema que mostra la disposició de les sèries reconegudes a Cap de Creus. (b): Sèrie Superior. mb: Marbres de base; gc: Gresos i conglomerats; cd: Calcàries i dolomies; I-IV: Zonació metamòrfica (I: Zona clorita-moscovita; II: Zona biotita; III: Zona cordierita-andalusita; IV: Zona sil·limanita); (c): Llegenda de les litologies presents al Cap Norfeu. (a), (b) i (c) segons Carreras i Druguet, 2013.

Els materials atribuïts a la Sèrie Superior afloren predominantment al sector SE i precisament la denominació alternativa com a Sèrie de Norfeu pren el nom de les seqüències observables en la petita península. En aquest sector els materials de la sèrie Superior reposen sobre una sèrie de pissarres i fil·lites fosques (ampelítiques) que constitueixen la Sèrie de Montjoi (Fig.6.b). Analogies entre la seqüència detrítica carbonatada de Norfeu amb les que afloren a la Salut de Terrades (Perejón, 1994) i al Massís de Bagur han induït a assignar a aquesta seqüència una edat cambriana (Carreras i Druguet, 2013). Aquesta edat ja va ser proposada per Cañada (1964) en base a analogies de fàcies amb les llunyanes seqüències Cambrianes del centre d'Iberia ("Calizas de Tamames"). La probable edat cambriana d'aquesta sèrie és coherent amb l'edat Neoproterozoica (Castiñeiras et al., 2008) de la seqüència grauatico-pelítica (Sèrie de Cadaqués) que es situa per sota la Sèrie de Montjoi.

Els materials de Cap de Creus enregistren una tectònica polifàsica que correspon a l'orogènia Varisca i s'interpreta que els efectes de la tectònica alpina són poc significatius pel que fa a la gènesis d'estructures penetratives associades a deformacions dúctils (plecs i foliacions). A la guia geològica de Carreras i Druguet (2013) es restringeix l'efecte alpí, associat a la formació dels Pirineus, al Cap de Creus a excepció del basculament de les estructures a la zona S. Pel que fa a la tectònica polifàsica, al sector NE de la península s'han reconegut tres fases de deformació. La primera (F1) és responsable d'una foliació, generalment paral·lela a l'estratificació, tanmateix no s'han pogut reconèixer estructures cartogràfiques. La segona (F2) genera plecs amb crenulacions associades. Es distribueix de forma molt heterogènia, desde bandes de deformació d'orientació OSO - ENE on la foliació S2 esdevé dominant fins a tenir aques-

ta fase absent en altres dominis. La F2 en el sector septentrional de la península coincideix amb el clima metamòrfic. La tercera fase de deformació (F3) genera plects en materials poc cristal·lins i zones de cisalla en granitoids i esquistos de grau mitjà-alt. La direcció predominant d'aquestes estructures és NO-SE. Al Cap Norfeu s'evidencien plects de traça axial de tendència EO que es formen a l'anomenada fase tardana (F3), però tenen una orientació lleugerament diferent atès que la direcció predominant d'aquesta fase és NO-SE. En conseqüència, la disposició de les estructures en aquest sector suggereix la necessitat d'un aprofundiment del coneixement de les estructures observables. Els plects de F3 afecten una foliació prèvia, paral·lela a l'estratificació. No hi ha prou evidència per associar-la a la F1 o a la F2 però, no obstant això, per similitud amb les estructures properes del barranc de Jònculs és probable que es tracti de foliacions associades a la F2.

La geologia de la façana oriental

Previ a la interpretació estructural cal deduir la seqüència estratigràfica original. La disposició de la seqüència és més fàcilment deduïble al sector O de la península i, de fet, és allí on s'ha establert la Sèrie Superior (ICC 1997, Carreras i Druguet, 2013).

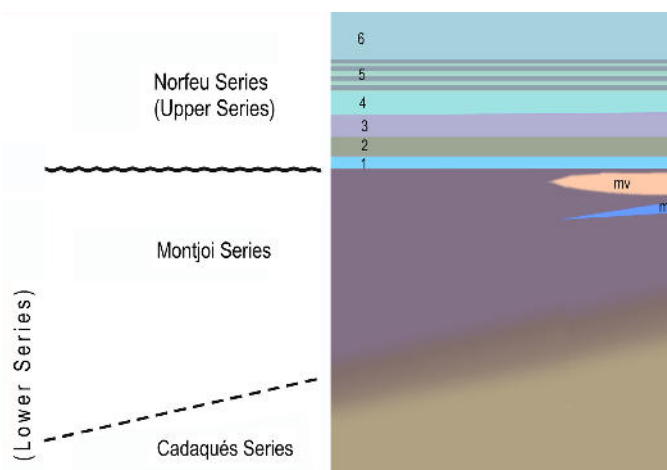


Fig.7. Seqüència litoestratigràfica corresponent al sector occidental de la península de Cap Norfeu i sector de Jònculs. (mv): Metavulcanites àcides; (m): Marbres; (1): Marbre basal de la sèrie Norfeu; (2): Gresos; (3): Conglomerats; (4 i 6): Calcàries dolomítiques massives i (5): Calcàries en capes fines. (Modificat de Carreras i Druguet, 2013).

Així doncs, el sector occidental de Cap de Creus, la península de Cap Norfeu i Jònculs, està format per la Sèrie Cadaqués, la Sèrie Montjoi i la Sèrie Norfeu. La Sèrie Cadaqués està constituïda principalment per alternances de gresos pelítics amb predomini de grauvaques, com ja s'ha dit prèviament. La Sèrie

Montjoi la formen essencialment pelites i semipelites fosques/ fil·lites negres (ferruginoses) amb intercalacions de metavulcanites àcides i marbres. Per últim, la Sèrie Norfeu comença amb un nivell de marbres (pocs metres) (Fig. 8). Després es troba un tram gresós i un altre de conglomeràtic (Fig.9.b). Per damunt s'hi observa material carbonàtic predominantment, amb dos nivells de calcàries dolomítiques massives (Fig.9.c) amb una separació prima ocupada per calcàries i intercalacions de pissarres verdes (Fig.9.a). Tot aquest conjunt de materials està afectat per un metamorfisme de grau baix a molt baix.



Fig. 8. Fotografia de detall del canvi de Sèries Montjoi-Norfeu on s'hi observen les fil·lites negres de la Sèrie Montjoi i el marbre basal i els gresos de la Sèrie Norfeu. En els marbres es pot apreciar la deformació interna amb els *boudins* presents (Cova de les Ermites).

Pel que fa a les estructures en aquest sector, es reconeixen com a estructures tectòniques dominants una foliació paral·lela a l'estratificació visible en gairebé tota la seqüència, a excepció de les dolomies massives, i plects angulosos que afecten tant a l'estratificació com a la foliació anterior. La foliació s'interpreta com una estructura associada a les F 1 i/o 2. Els plects s'associen amb la F3 (Fig.10). En les dolomies no s'observen ni es distingeixen gairebé. Tot i així, s'hi presencien petites falles menors.



Fig.9. Detalls de la Sèrie Norfeu. (a): Alternança de calcàries i pissarres verdoses en capes situada topogràficament per sota dels nivells de conglomerats; (b): Detall dels conglomerats deformats (metaconglomerats); (c): Dolomies massisses de la part superior de la Sèrie Norfeu (Morro Gros).



Fig. 10. Detall dels plecs de F3 en un sector dels penya-segats orientals de la península.

Anàlisi estructural

Anàlisi del mosaic fotogràfic

Dels diferents perfils estructurals obtinguts mitjançant els mosaics fotogràfics se n'han triat tres de representatius dels estils estructurals observables (Fig.11). El perfil S (Fig.11.a) mostra la complexitat estructural localitzada per sota les dolomies massisses. Té molta presència de fractures menors. El perfil N (Fig.11.b) es caracteritza per la presència de plects decamètrics associats a la F3 amb nombroses disharmonies lligades al comportament de les dolomies en bancs. Per últim, el perfil central (Fig.11.c) té una predominança important de plects de F3 (com

en tots els perfils) amb tendència tipus chevron o kink. En general són decamètrics però també n'hi ha de segon i tercer ordre (de decimètrics a centimètrics). En aquesta zona els plans axials cabussen menys que l'estratificació (que òbviament es troba plegada). Aquesta és la situació pròpia d'un flanc redreçat (verticalitzat). Quant a l'observació del perfil general (Fig.12), destaquen a la part central-nord un conjunt de plects relativament grans de plans axials cabussant cap a N. També es pot percebre com la part central (conglomerats) mostra els plects i l'estratificació molt més marcada que en els flancs del gran plec (N i S). Atenent a la repetició de les dolomies al S i N, l'estructura global ha de ser més complexa que l'associada a una sola fase de plegament. Per aquesta raó cal integrar la informació de camp en la interpretació de l'estructura.

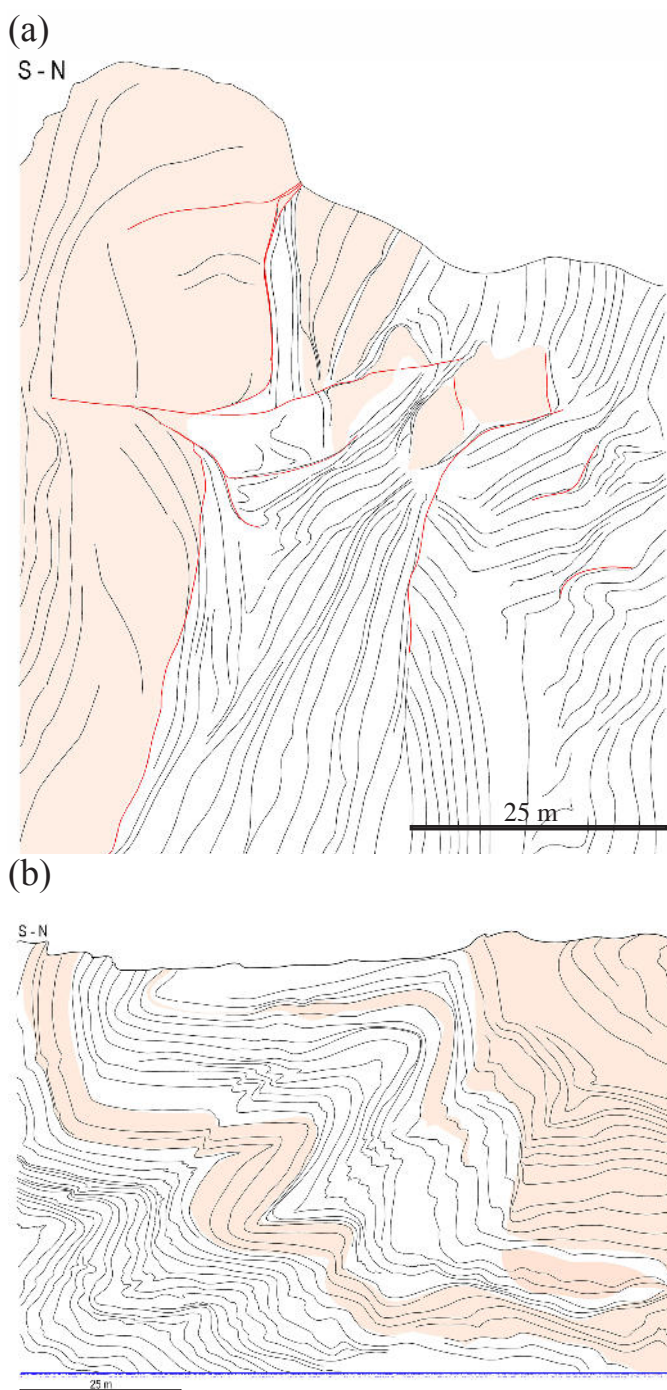


Fig.11. Perfils de detall de les estructures de la façana oriental de la península de Cap Norfeu. (a): Sector S; (b): Sector N; (c): Sector central. En línies discontinües liles es mostren els plans axials. En color salmó es mostren les dolomies.

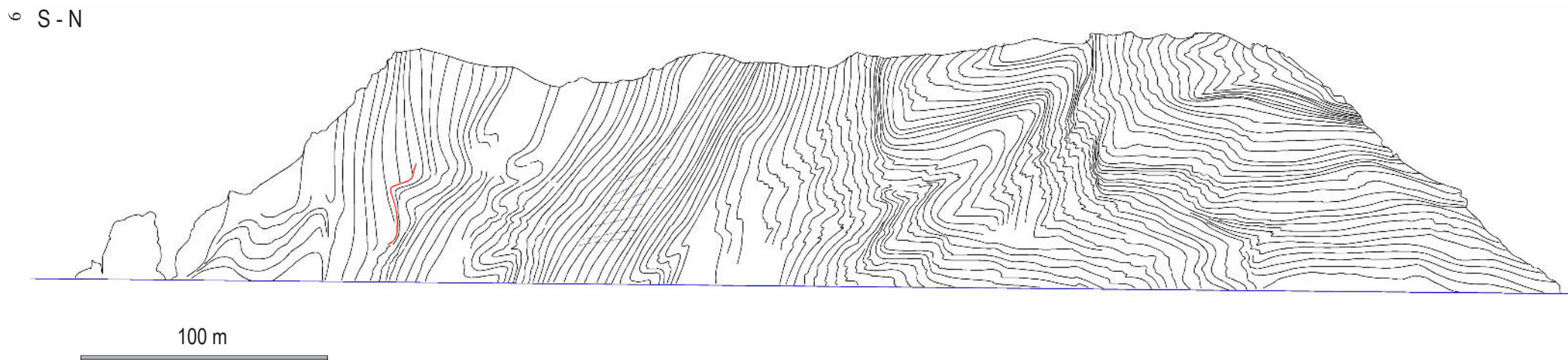


Fig.12. (a): Fotografia de la secció oriental de Cap Norfeu. A la fotografia s'aprecia el canvi d'estructura; als extrems massís (dolomies) i al centre foliat i estratificat (conglomerats i pissarres); (b): Tall on es mostra la configuració estructural a partir de les traces de la foliació/estratificació (en negre). Aquesta reconstrucció està elaborada a partir de la integració d'un mosaic de fotografies de prop i restituïdes per encaixar en el perfil de base (veure Fig.5). La línia vermella respon a un possible contacte tectònic que s'ha pogut reconèixer a la base de les dolomies massisses de la part S. El fet que els nivells de dolomies massives que flanquegen ambdós extrems de la secció corresponguin al mateix nivell litològic (com s'evidencia en la seqüència observable a la part occidental de la península), indica que l'estructura és quelcom més complexa que l'associada a una única fase de plegament.

Anàlisi del treball al camp

Un cop obtingudes les diferents fotografies, amb els posteriors perfils i observacions, s'ha anat al camp per resoldre i acabar de comprovar diferents aspectes.

1. Comprovacions de les litologies. Amb les fotografies realitzades de la façana de Cap Norfeu (les fotografies de proximitat) no s'ha pogut veure clarament algunes de les litologies, les diferències no s'aprecien. És per això que s'ha anat a veure *in situ* per comprovar-les.

2. Mesures de cabussaments. En les fotografies es poden observar prou bé les orientacions però sempre és millor disposar de mesures més concretes. Aquestes han estat realitzades amb brúixola convencional i el programa GeoID de iPhone. És important remarcar que aquest treball no és essencialment de camp i que la limitada informació obtinguda es deu a la inaccessibilitat de la façana; La major part del tram de la façana és escarpada i perillosa per baixar al nivell adequat per a l'estudi.

Si bé no es disposa d'un nombre elevat de mesures, la projecció dels elements estructurals permet evidenciar la disposició espacial de l'estructura analitzada en 2D. Les traces dibuixades a la secció central (veure Fig.11.c) corresponen a superfícies definides per una foliació.

Tot i que l'accessibilitat no és prou bona i que impedeix l'observació de les estructures il·lustrades en els perfils de detall (veure Fig.11), per la cornisa superior poden identificar-se estructures que tenen un interès geològic important. Cal esmentar, en primer lloc, els nombrosos exemples d'estructures resultants del contrast de competència entre els marbres derivats de dolomies i de calcàries, sent més competents els dolomítics, presentant fracturació. Els marbres presenten deformació dúctil (foliacions) (Fig.14.a). Aquest fenomen és bastant conegut en observacions de camp (ex. Woodward et al., 1988; Erickson, 1994). També cal remarcar que s'evidencia la variació de l'estil dels plects en funció de la reologia de la roca. Els materials més foliats (elevada anisotropia mecànica) tendeixen a fer plects de xarneres angulars (tipus *kink*) (Fig.14.b) mentre que els materials més massissos deriven plects amb xarneres més arrodonides (Fig.14.c). Aquesta observació és coherent amb els models de Cosgrove (1971 i 1976).

El tercer exemple remarcable d'estructures menors són les associades a la localització de la deformació

en funció de la litologia, es a dir, de la reologia de la roca. Les zones d'intensa deformació en els marbres es presenten com a bandes de roques intensament foliades (Fig.14.d). Per contra, les dolomies presenten falles netes amb espill de falla (Fig.14.e).

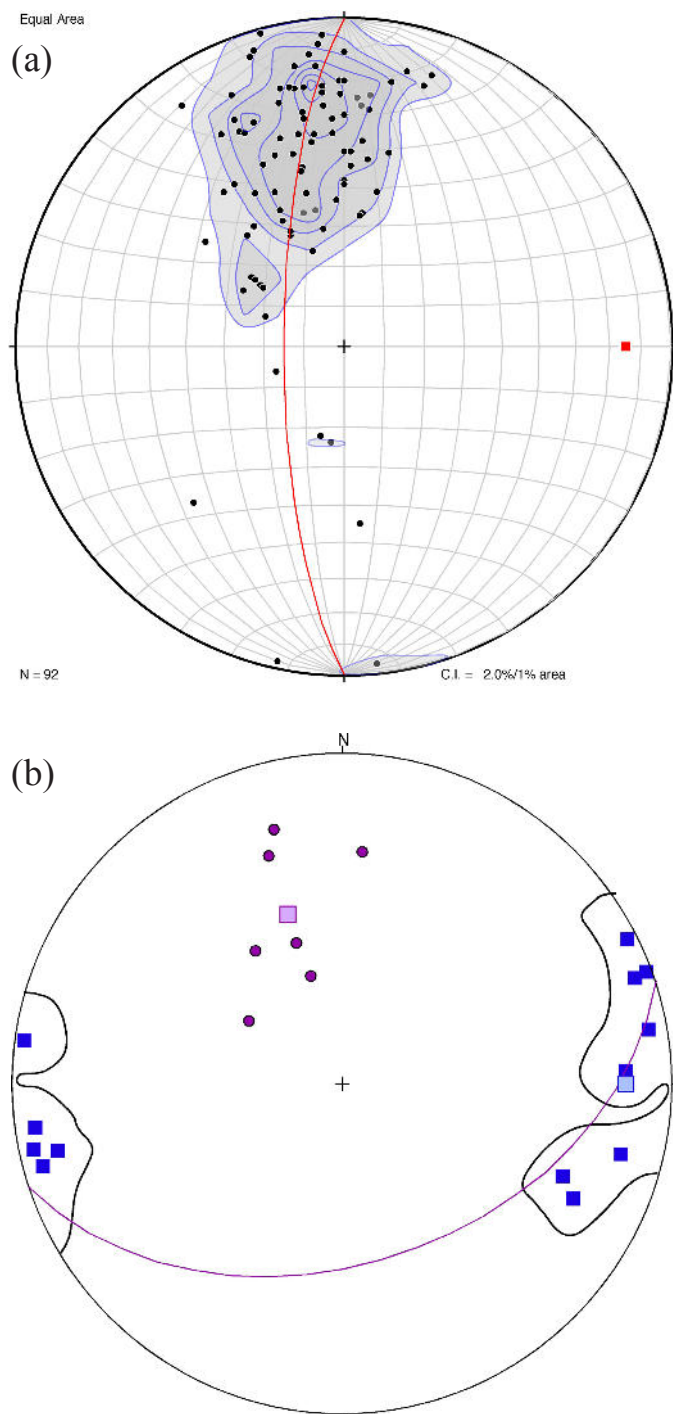


Fig.13. Estereogrames. (a): 92 pols de l'estratificació i de la foliació sent ambdues paral·leles (contorns amb intervals del 2%). La ciclogràfica indica el cercle màxim de millor encaix (*best cylindrical fit*). El punt vermell correspon a l'eix teòric; (b); Projecció dels eixos dels plects de F3 (quadrats blau fosc). Es mostra l'eix teòric deduït a (a) (quadrats blau clar) i els pols dels plans axials dels plects de F3 (cercles liles). El quadrat lila i la ciclogràfica corresponen, respectivament, a la mitjana del pols i dels plans axials. Programa utilitzat: Programa Stereonet v. 6.3X (Carbon) de R.W. Allmendinger.

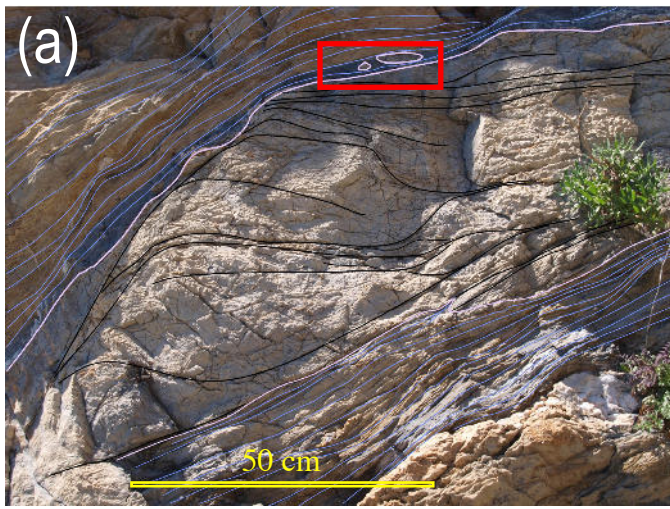


Fig.14. Estructures de detall. (a): A dalt, contrast reològic entre marbres dolomítics i calcaris. Hi ha una tendència d'aquests materials a formar cossos rígids amb fracturació interna. Els marbres es presenten milonítics. A baix, fotografia de detall de clasts de dolomia o calcària inclosos en el marbre; (b): Plecs de F3 en conglomerats (metaconglomerats); (c): Plecs de F3 en calcària/dolomia; (d): Estructura complexa dels marbres foliats en contacte amb les dolomies (veure Fig.11.a); (e): Falla de fase tardana (posterior a F3) que afecta els marbres dolomítics massissos en contacte amb els marbres foliats (milonítics).

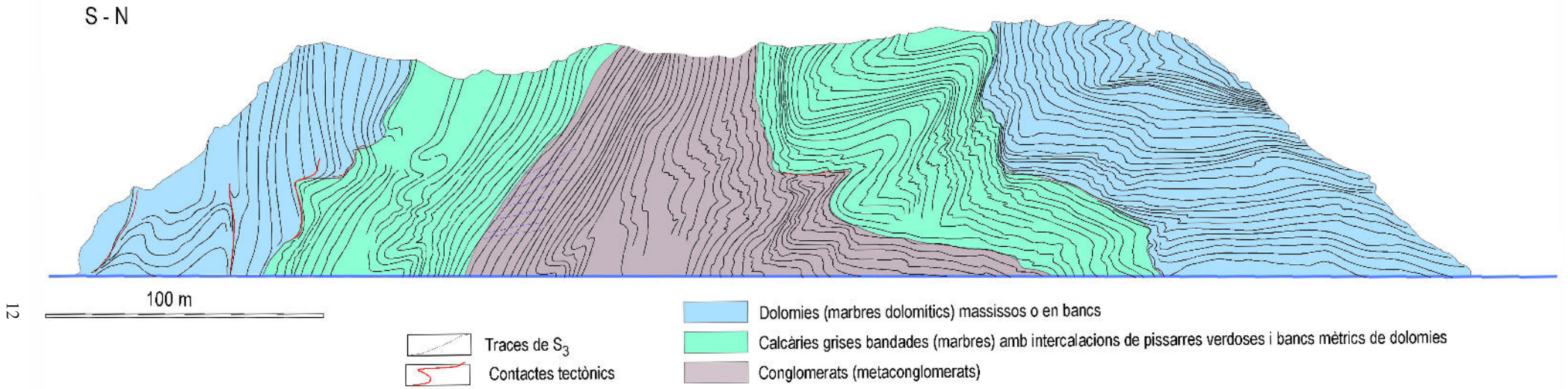


Fig.15. Tall amb l'estructural general i les litologies. La foliació (traces S_3) es troba a la part S-central i els contactes tectònica a la part S.

Interpretació de l'estructura

Pel que fa a la disposició de les litologies, tenim una simetria; les dolomies massisses es troben al S i N i els conglomerats a la part central, amb calcàries en bancs i intercalacions de pissarres verdes a ambdós costats. Aquests aspectes indiquen que es tracta d'un plec. No obstant això, aquesta estructura no es correspon amb els plecs associats observables d'escala més petita: Les estructures són les mateixes als dos flancs. Les formacions associades a un plec són principalment, amb més i menys intensitat segons la reologia de la roca, plecs d'escala inferior asimètrics que segueixen la trajectòria del plec. Aquests es mostren simètric a un costat i l'altre, no iguals, com és el cas de Cap Norfeu. Tot això indica que la macroestructura, el plec, és anterior als plecs de F3, els quals conformen aquesta mateixa disposició als dos flancs (Fig.16).

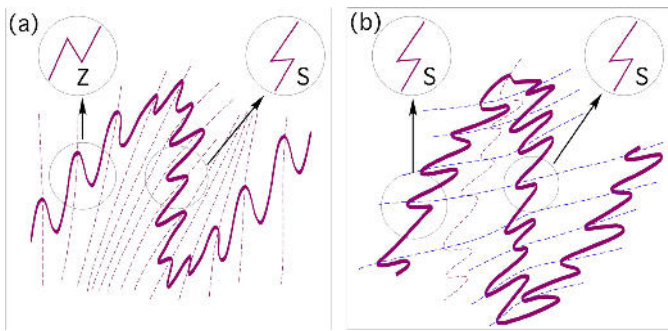


Fig.16. (a): Plecs parasítics (o plecs de segon ordre) associats a la formació del plec de major ordre. Flancs de plecs de tipus "s" i "z"; (b): Plecs menors associats a una fase posterior a la del plec major. Flancs de plecs de tipus "s". En línies discontinües vermelles es mostra la foliació; en blau, els plans axials (afectant tot el plec major).

Partint d'aquí, es dedueix que es tracta d'una estructura d'interferència entre plecs de F3 i aquest plec anterior, de dimensions més grans (Fig.17). La foliació dominant és paral·lela a l'estratificació i, per tant, anterior a la F3 (ja que es troba plegada per ella). El més simple és considerar que la foliació dominant està associada al gran plec. No obstant això, no s'han pogut apreciar ni estructures menors ni obliqüitats entre l'estratificació i la foliació dominant que mostrin l'associació entre aquests dos aspectes. Es per això que es pot interpretar que el plec gran és de tendència isoclinal, de tal manera que en els flancs l'estratificació i la foliació es manifesten gairebé paral·leles. Així doncs, només a la xarxa aquesta obliqüitat seria obvia (no obstant i desgraciadament es tracta d'un element erosionat avui dia). També està la carència d'estratificació clara dels conglomerats, la qual cosa significa que aquest pot ser el motiu de no poder observar la relació entre el plec i la foliació dominant. Clarament els plecs visibles en el tall estan associats a F3 i, per tant, desvinculats de l'estructura general i cartogràfica. En conseqüència, el gran plec es podria associar a la F1 o F2.

Per semblança amb les interferències que s'observen al barranc de Jònculs, es pot interpretar que aquesta estructura d'interferència de plecs estudiada és el resultat de la superposició de plecs decamètrics de F3 sobre un plec hectomètric de F2.

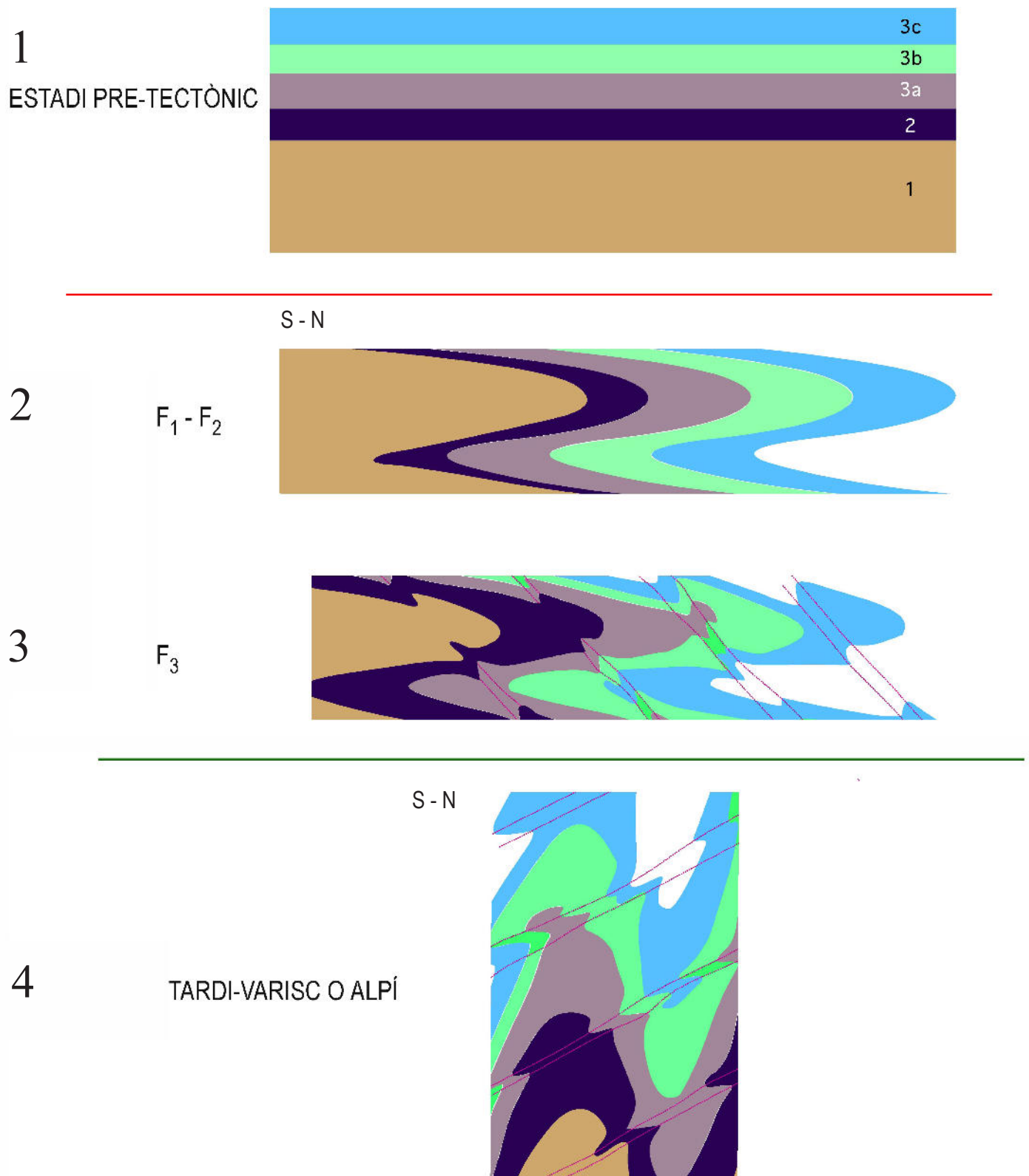


Fig.17. Esquema interpretatiu de l'evolució de l'estructura de Cap Norfeu; (1): Disposició esquemàtica de les litologies; 1: Sèrie Cadaqués; 2: Sèrie Montjoi; 3: Sèrie Norfeu; 3a: Gresos i conglomerats; 3b: Calcàries en capes; 3c: Dolomies massisses; (2): Fases 1 i 2. Són difícils de distingir en aquesta zona però són responsables conjuntament dels plecs ajaguts amb foliació de pla axial subparal·lela a l'estratificació; (3): Fase 3. Es formen plecs asimètrics amb plans axials cabussant cap al N; (4): Fase tardi-varisca o alpina on un basculament de les estructures anteriors provoca que els plans axials de F3 cabussin cap al S.

Geomorfologia i paisatge

És important mencionar els aspectes geomorfològics destacables que configuren el paisatge, ja que es tracta d'un treball centrat en l'anàlisi estructural i la zona mostra una quantitat important d'afloraments i elements remarcables.

És evident que tota la península de Cap Norfeu correspon a una articulació de la costa i es troba morfològicament condicionada pels materials; gruixudes seqüències de carbonatades intercalades per sèries de pissarra i fil·lita més fàcilment erosionable. Aquesta situació es repeteix en menor grau en els caps Blanc i Trençat (Fig.18), on també afloren els carbonats marmoritzats. Aquests caps també contrasten amb la presència de cales i badies, producte de l'erosió de pissarres i fil·lites, n'és un exemple la badia de Montjoi.

El domini de les calcàries al Cap Norfeu determina una morfologia càrstica, que s'identifica especialment a la façana oriental analitzada; s'hi poden reconèixer com algunes de les coves visibles tenen un fort control en l'estructura (Fig.19).

A l'interior de la península també es localitzen nombroses coves d'origen càrstic com el Cau del Lliri, Cova de les Ermites, Cova del Traire, Cova del Tamarin, Cova Fumada, Cova del Rec de la Galera, Cova Gran, Cova dels Miracle, Cova del Tabals, Cova del Guill, Cova dels Dormidors, Cova de les Mongetes, el Forat de la Muntanya de Norfeu, etc. La Cova del Lliri (Fig.20) és una de les més gran i ha estat explorada i documentada, amb una alçada

de 105 metres sobre el nivell del mar i una profunditat d'entre 20 i 53,5 metres. Es troba situada propera a la façana estudiada, a la part nord de la zona, l'entrada de la qual està a pocs metres d'un dels camins principals. Es tracta d'un pou natural, de fet, amb parets gairebé verticals o verticals. Té un recorregut de 450 metres en total i està dividida en cinc nivells comunicats per sistemes de pous i rampes. L'entrada, al nivell superior, té una secció triangular i és bastant ample.



Fig.18. Caps Trençat (en primer terme) i Blanc (en segon Terme), ambdós formats per marbres dolomítics.

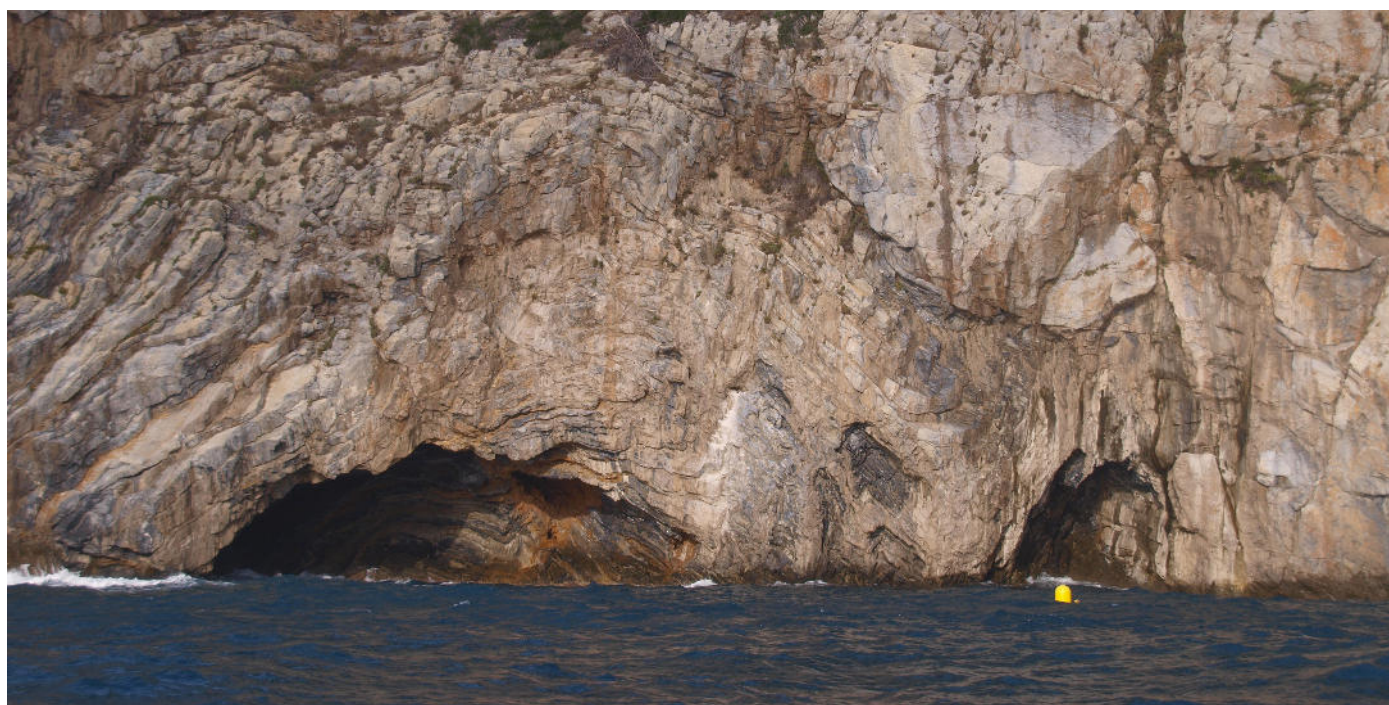


Fig.19. Coves formades per erosió diferencial als nuclis de dos plecs antiformal. S'aprecia l'alternança de calcàries amb pissarres negres a les parets de la cova. A l'esquerra, la Cova Fumada.

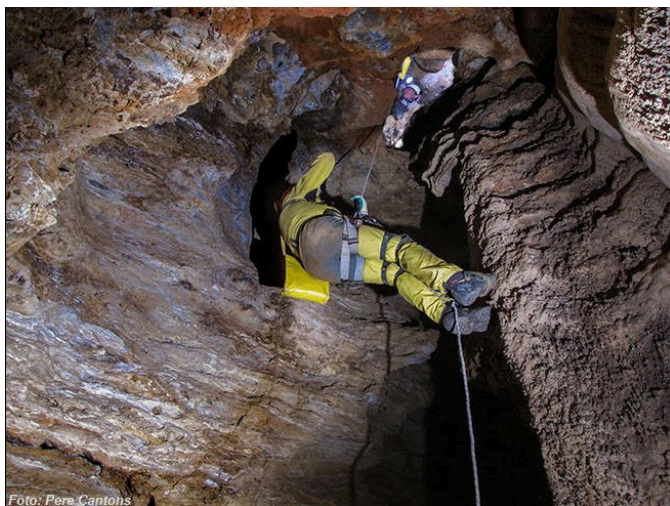


Foto: Pere Cantons

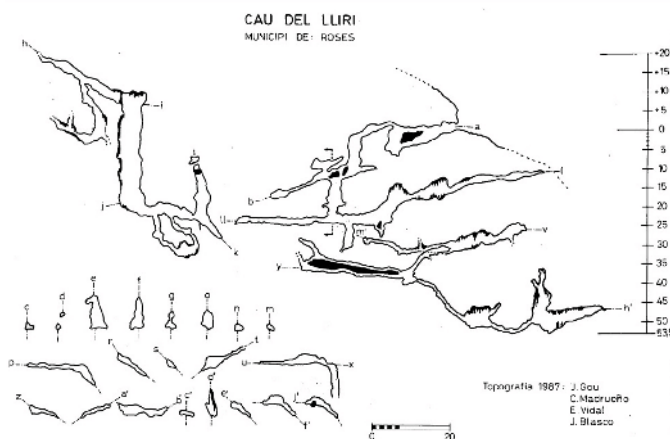


Fig.20. Cau del Lliri: (a) Interior de la cova (Fotografia: Pere Cantons); (b): Esquema de la secció (Gou *et al.* 1987).

Altres formes d'erosió sobre les seqüències carbonàtiques (ja parlant d'estructures externes) han generat formes estrambòtiques com l'illot El Gat o El Cavall Bernat, formant les illes Mòniques, anomenats així per les semblances de les siluetes amb aquests animals (Fig.21).



Fig.21. Illot El Gat i El Cavall Bernat, a la part S de la façana.

Els petits caps que configuren la façana oriental estudiada també són elements de litologia carbonàtica, així com el Cap Gros o Morro Gros i la Trona; només Punta Prima es troba parcialment composta pels conglomerats. També trobem alguns canals ocasionals en el Rec de la Calç i el Rec d'en Florís, tots dos desembocant a la banda N.

Així doncs, resumint, es podria dir que la península Norfeu es tracta d'una zona molt rica geològicament i molt ben conservada, gràcies a la Llei de protecció integral de Cap de Creus del 1998. Es tracta d'una zona també molt abundant i diversa pel que fa a la fauna i la flora, puix que es pot considerar que la península té un aïllament relatiu i això deriva a una conservació biològica de considerable interès.

L'empremta antròpica a Cap Norfeu

Primer amb la integració al PEIN (Pla d'Espais d'Interès Natural) i posteriorment amb la Llei del Parc Natural de Cap de Creus, la petita península de Norfeu ha quedat protegida del desenvolupament turístic, sovint invasiu i descontrolat. No és el cas de Puig Rom, que si ha estat afectat (Roses) (Fig.22).



Fig. 22. Puig Rom, Roses. Urbanisme salvatge desenvolupat als anys 70.

Tot i així, la zona va estar a punt de ser edificada el febrer del 1974¹ (mentre es desenvolupava a Puig Rom). Es van iniciar uns treballs preparatoris que foren paralitzats a l'espera de tràmits i normatives. Va ser quan la delegació de Girona del Col·legi d'Arquitectes de Catalunya i Balears, en contra d'aquesta iniciativa, va formular les següents proposicions: d'haver informat l'Ajuntament de Roses i la Comissió Provincial de Patrimoni Artístic, com organismes responsables i amb capacitat de decidir sobre la qüestió, de la greu alteració de la morfologia paisatgística de Cap Norfeu i de la Costa Brava i de la irremediable pèrdua d'aquest element pel que fa a la textura, conservació i imatge estètica.

Sembla que la proposta d'edificació es mantingué aturada fins al gener de 1977², que fou quan el Secretariat del Baix Empordà del Congrés de Cultura Catalana denuncià públicament nous intents efectuats per altres vies. En el document exposa que «el Cap de Creus en la seva totalitat, forma part del patrimoni natural més intrínsec de la nostra cultura i és un deure nacional la seva conservació en el seu estat salvatge en el qual s'encontra.» També exposa que tant en el manifest (firmat per 5.000 persones) com

en el llarg del Debat Costa Brava, es va demanar reiteradament l'estatut de Parc Natural per aquest indret amb una autonomia administrativa per assegurar el control (Fig.23).

El 27 de març del mateix any³ es publicava la victòria de l'anul·lació total del projecte urbanístic sota el títol "La salvació de Cap Norfeu".

Els casos on la presència humana ha deixat una empremta d'interès històric i d'impacte positiu són tres: La Torre de Norfeu, la Cova de les Ermites o dels Pastors i el Rec de la Cal. Dels tres punts esmentats, dos queden a l'altre extrem de la secció analitzada i només el Rec de la Cal se situa proper a les calcàries i dolomies de l'extrem N.

La Torre de Norfeu (Fig.24) es troba situada en el punt més elevat de la península de Norfeu (169 m) i avui dia es tracta de les restes d'una torre de vigilància. Es va construir als inicis del segle XVI, encara que alguns autors daten del 1598, per l'ingenier Hyeronimo Marahi. Tenia com a funció defensar les cales veïnes dels corsaris i formava part del sistema defensiu general del Golf de Roses. També formava part d'un procés de fortificació global de les costes dels regnes peninsulars, governat sota el poder de la monarquia hispana. Un dels motius de protecció era el de preservar l'aigua dels invasors, ja que era una zona molt rica pel que fa a l'aigua i dotada de tres fonts naturals. Durant la Guerra dels Segadors, i més

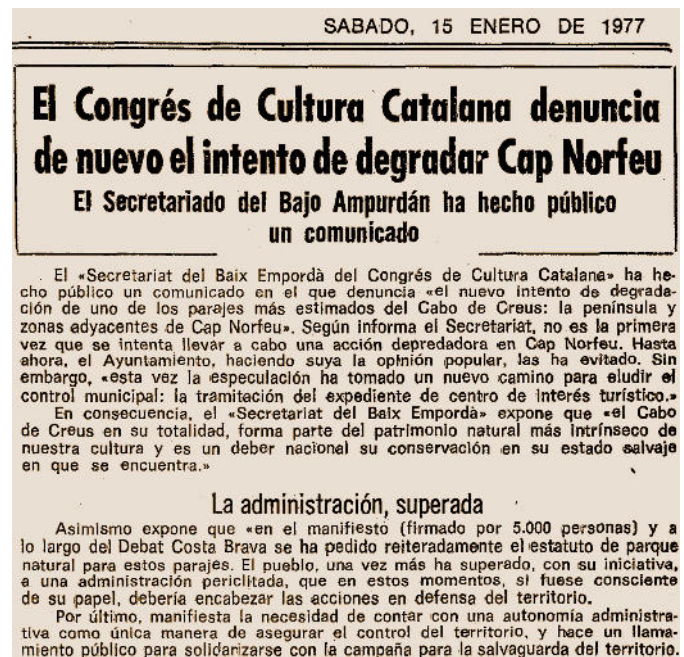


Fig. 23. Retall de la notícia sobre la denúncia del nou intent de degradació del Cap Norfeu. La Vanguardia, dissabte 15 de gener del 1977.

¹ Vila, J., "Precisiones del Colegio de Arquitectos sobre la proyectada urbanización del Cabo Norfeu", La Vanguardia, 16 de febrer de 1974, p. 38.

² article no signat. "El Congrés de Cultura Catalana denuncia de nuevo el intento de degradar Cap Norfeu", La Vanguardia, 15 de gener de 1977, p. 26.

³ Ibañez Escofet, Manuel. "La Salvación del Cap Norfeu", La Vanguardia, 27 de març de 1977, p. 3.



Fig.24. Torre Norfeu (font: <http://es.wikiloc.com/wikiloc/img-Server.do?id=2649898>).

tard, s'anomenà Torre del Rey per fidelitat a Felip IV. Constava d'una planta circular de gran diàmetre, dos pisos i un espai d'artilleria. El primer pis tenia un mur exterior taulejat que originalment era una cisterna i que, més tard, es va utilitzar per usos agrícoles quan la Torre deixà de tenir funcions militars. A la segona meitat del segle XVII va ser destrossada pels francesos. Avui dia és de propietat privada.

La Cova de les Ermites o dels Pastors (Fig.25), també coneguda com a Cova dels Eremites, està situada a la part occidental de la península i, geològicament, just al contacte entre els carbonats basals de la Sèrie de Norfeu i les fil·lites fosques de la Sèrie de Montjoi (veure Fig.7). Es troba aproximadament a 65 metres per sobre del nivell del mar i té una longitud total d'uns 32 metres (longitud no continua). Comença amb una amplada de 5,5 m i una alçada de 2 m, una petita sala que es va convertint en galeria de secció el·líptica variable a mesura que s'avança. La cavitat es troba semitancada per un mur de lloses (Fig.25.a) de pissarra, deixant una obertura rectangular, la porta. Les parets de la cova es troben rebaixades formant uns bancs i unes lleixes excavades a la roca natural, al costat nord (Fig.25.b). Tot apunta, com bé diu el nom i aquesta paret que, sense dubte, ha estat creada per l'home, que aquesta cova tenia la finalitat de tancar-hi el bestiar. No obstant això, també es creu que fou un espai de vida eremítica rupestre. La història d'aquesta cova pel que fa a les seves funcions no estan documentades i tot el que hi ha són suposicions i creences.

El Rec de la Calç (Fig.26) està situat a la part N-E de la península. En aquest Rec s'observa la presència d'uns graons en part excavats i en part adossats sobre l'inclinada roca calcària. Se suposa que aquesta construcció tenia la finalitat de facilitar el descens de la càrrega de les roques carbonàtiques fins a les



Fig.25. (a): Entrada de la cova amb mur de lloses de pissarra; (b): Interior de la cova on s'aprecien els bancs excavats per la ma de l'home.

barques, per dur-les fins a la cala Canadell, just formant l'articulació de la península al N, on es poden observar les restes d'un forn de calç. Per damunt del Rec s'hi troben les calcàries en capes mentre que la part inferior està composta per calcària massissa, estructura que es pot observar fins a l'extrem oriental del Cap Gros de Norfeu.



Fig.26. Camí del Rec de la Calç.

Conclusions

La façana oriental de Cap Norfeu mostra una secció natural d'elevat interès estructural. A més dels plecs que visualment caracteritzen la secció, la disposició de les seqüències cambrianes posen en evidència que l'estructura respon a formes d'interferència de plecs (un plec major de F1/2 i plecs menors de F3).

La comparació de l'estructura analitzada amb les regionals suggereix que la disposició actual dels plecs no és només el fruit de les formes d'interferència sinó també d'un basculament afegit (possiblement alpí). Això es fonamenta en el fet que els plecs de F3 presenten en quasi tota la península de Cap de Creus cabussament al N, mentre que a Norfeu (i al S de Cap de Creus) cabussen al S.

La configuració actual és una estructura antiforme amb els conglomerats ocupant el nucli i no es correspon amb la cartografia geològica (ICC) on apareix un sinclinal.

La deformació d'aquesta seqüència es produeix de manera diferenciada degut al control litològic. Els nivells de dolomies (marbres dolomítics) és comportant com a material competent i acomoden la deformació mitjançant fractures i plecs de xarnera corba (en els nivells més primers). Per contra els nivells de marbres amb intercalacions de pissarres i els metaconglomerats es deformen adquirint una foliació i posteriorment plegant la foliació amb plecs de tipus *kink/chevron*.

La zona estudiada presenta una gran varietat estructural; sobretot mostra diferents comportaments reològics, així com falles fràgils, zones de cisalla dúctil, *boudins*, fragments formats per tectònica, etc.. En definitiva, moltes respostes diferents de la roca.

Una geomorfologia espectacular amb una gran quantitat coves i també formes càrstiques arran de mar juguen un paper molt important en el paisatge d'aquesta petita península

Al tractar-se d'una zona inclosa en l'àrea de protecció integral del Cap de Creus, és evident que Cap Norfeu engloba una sèrie d'interessos important; el sumatori de valors patrimonials avarca molts àmbits, tan pel que fa a la geologia, tocant moltes matèries diferents, com a la biologia. Fins i tot la zona té alguns elements d'interès històric-cultural, així com la Torre o la Cova de les Ermites. Així doncs, aquest espai engloba tot d'aspectes que, sumant l'atractiu del paisatge, el converteix en un indret molt interessant.

Agraïments

Aquest treball no hauria estat possible sense l'ajuda de Jordi Carreras, tutor d'aquest treball. Molt agraïments per tot el suport.

Referències bibliogràfiques

- Carreras i Druguet (1993) Informe Parc Carreras, J. E. 2000. Geozona 164: Paleozoic de Cap de Norfeu. Generalitat de Catalunya, http://www20.gencat.cat/docs/dmah/Home/Ambits%20dactualacio/Medi%20natural/Sistemes%20dinformacio/Inventari%20despais%20dinteres%20geologic/Consulta%20de%20les%20fitxes%20descriptives%20dels%20EIG/documentos/164_descrip.pdf.
- Carreras, J. Druguet, E. (2013) Illustrated Field Guide to the Geology of Cap de Creus. Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona, 123 pàg.
- Cañada Guerrero F. (1964) Síntesis geológica sobre el Paleozoico y Prepaleozoico del extremo oriental de los Pirineos, en la zona de Rosas (Gerona). Not. y Com. Inst. Geol. Min. España. Núm. 75. Pàg. 119-154.
- Castiñeiras, P., Navidad, M., Liesa, M., Carreras, J., Casas, J.M., 2008a. U–Pb zircon ages (SHRIMP) for Cadomian and Lower Ordovician magmatism in the Eastern Pyrenees: new insights in the pre-Variscan evolution of the northern Gondwana margin. *Tectonophysics* 461, 228–239.
- Cobbold, P.R., Cosgrove, J.W., Summers, J.M., 1971. Development of internal structures in deformed anisotropic rocks. *Tectonophysics* 12, 23-53.
- Cosgrove, J.W., 1976. The formation of crenulation cleavage. *Journal of the Geological Society of London* 132, 155e178.
- De la Fuente, P. (1993) Un exemple d'arquitectura defensiva del litoral català en època moderna: La Torre de Norfeu. *Annals de l'IEE*, núm. 26, Figueres, 1993. pàg 158-167.
- Erickson, S.G., 1994. Deformation of shale and dolomite in the Lewis Thrust-fault zone, Northwest Montana, USA. *Canadian Journal of Earth Sciences* 31, 1440–1448.
- Fort, M. Geologia del Cap de Creus (2006). *Revista de Girona*. Núm 236. pàg. 69-73.
- Madrueno, C. L'espeleologia a l'Empordà (article inèdit accessible a: <http://es.scribd.com/doc/14025363/Espeleologia-a-l-Alt-Emporda>).
- Ibañez Escofet, Manuel. “La Salvación del Cap Norfeu”, *La Vanguardia*, 27 de març de 1927, p. 3.
- Institut Cartogràfic de Catalunya, Generalitat de Catalunya. 1997. Mapa Geològic de Catalunya 1:25.000, Full: 259-1-1 Roses.
- Perejón, A., Moreno-Eiris, E. & Abad, A. (1994): Montículos de Arqueociatos y calcimicrobios del Cámbrico inferior de Terrades, Gerona (Pirineo oriental, España). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geológica*, 89(1-4): 55-95.
- Vila, J., “Precisiones del Colegio de Arquitectos sobre la proyectada urbanización del Cabo Norfeu”, *La Vanguardia*, 16 de febrer de 1974, p. 38.
- Woodward, N.B., Wojtal, S., Paul, J.B., Zadins, Z.Z., 1988. Partitioning of deformation within several external thrust zones of the Appalachian orogen. *Journal of Geology* 96, 351–361.
- article no signat*. “El Congrés de Cultura Catalana denuncia de nuevo el intento de degradar Cap Norfeu”, *La Vanguardia*, 15 de gener de 1977, p. 26.

www.rosespedia.cat