Universitatea Babeș-Bolyai din Cluj-Napoca Facultatea de Știința și Ingineria Mediului 2021

Rezumatul tezei de doctorat

Depozitele pleistocene din insulele Pitusice: arhitectură, cronologie prin luminescență și implicații paleoclimatice

Laura del Valle Villalonga

Coordonator: prof. Dr. Alida Timar-Gabor

Zonele de coastă sunt teritorii dinamice supuse confluenței multor agenți care provoacă transformări. Aceste modificări și cauzele lor pot fi evidențiate prin intermediul studiilor geomorfologice. Studiul sedimentelor pleistocene din insulele Pitusice poate furniza informații excelente pentru o mai bună cunoaștere a istoriei condițiilor climatice și de mediu, precum și a proceselor geomorfologice care au avut loc în timpul Cuaternarului. În acest sens, arhivele sedimentare costiere pleistocene, cum ar fi eolianitele, sedimentele coluviale-aluviale, sedimentele marine sau paleosolurile conservate de-a lungul zonelor de coastă, la latitudini medii sunt utilizate pentru a obține informații asupra răspunsului sedimentar datorat variațiilor nivelului mării (e.g., Porat și Botha, 2008; Bateman et al., 2011) și pot furniza înregistrări paleoclimatice cu semnificație regională și globală atunci când sunt datate precis (El-Asmar, 1994; Kindler și Hearty, 1995; 1996; Clemmensen et al., 1997; Kindler et al., 1997; Hearty, 1998; Kocurek, 1998; Mauz, 1999; Rose et al., 1999; Sun et al., 1999; Blay și Long, 2001; Brooke, 2001; Clemmensen et al., 2001; del Valle et al, 2016; Fornós et al., 2009; Pomar et al., 2018; Roberts et al., 2012).

În ultimii ani, datarea prin luminescență stimulată optic (OSL) a devenit un instrument de bază pentru stabilirea cronologiei succesiunilor siliciclastice Cuaternare din întreaga lume și a fost aplicată pentru obținerea de informații cronologice în diverse medii, cum ar fi pentru datarea depozitelor eoliene (Murray și Clemmensen, 2000; Ballarini et al., 2003; Andreucci et al., 2009; Fornós et al., 2009), depozitelor marine (Jacobs et al., 2011; Yang et al., 2015), depozitelor glacio-fluviale (Shen et al., 2007; Lewis et al., 2009), sedimentelor lacustre (Armitage et al., 2007; Shen et al., 2007), dunelor (Pomar et al., 2018) sau loessului (Tecsa et al., 2020a, 2020b; Constantin et al., 2021).

Datarea prin luminescență determină timpul scurs de la ultima expunere a diferitelor granule minerale la lumina soarelui și astfel constrânge timpul scurs de la îngroparea sedimentului (Aitken, 1998). Radioactivitatea este omniprezentă în mediu și mineralele precum cuarțul și feldspații au capacitatea de a stoca energia radiațiilor ionizante sub formă de sarcină capturată în defecte care, prin stimulare, poate tranzita energetic spre alte defecte numite centrii de recombinare și duce la emiterea unui semnal de luminescență care poate fi cuantificat. Vârsta este calculată prin determinarea raportului dintre paleodoză (Gy), care este doza totală primită de minerale de la ultimul eveniment de reducere la zero a semnalului, la debitul dozei din mediu (Gy/ka). Dezvoltarea protocolului regenerativ folosind o alicotă unică (SAR) de cuarț, pentru determinarea dozei de radiații primite de granulele minerale de când au fost expuse ultima dată la lumina soarelui (Murray și Wintle, 2000; 2003) a crescut semnificativ precizia cronologiilor obținute cu ajutorul metodei de datare prin luminescență stimulată optic.

Eolianitele sunt roci sedimentare compuse în principal din sedimente marine bioclastice acumulate prin acțiunea vântului și a curenților marini, în regiunile de coastă. În Insulele Baleare, acest tip de rocă este cunoscut sub denumirea populară de "mares" și a fost folosită din timpuri imemoriale de către locuitorii întregului arhipelag pentru construcții (Galvañ și Ferrer, 2000).

În Menorca (Pomar, 2016), Maiorca (Fornós et al., 2009; Pomar et al., 2018) sau Ibiza (del Valle et al., 2016), eolianitele conțin între 1 și 9% minerale detritice, în principal cuarț. Particulele carbonatice marine (bioclastele) au fost transportate de vânt de pe șelful continental. Granulele de cuarț sunt atribuite aportului eolian (Fiol et al., 2005) și provin din zonele deșertice din Africa de Nord (Fornós et al., 2009). Sedimentele transportate de vânt sunt considerate materiale ideale pentru aplicarea datării prin luminescență. În ultimele decenii, datarea prin luminescență stimulată optic a fost din ce

în ce mai des utilizată pentru obținerea cronologiilor absolute pentru astfel de sedimente: în vestul Mediteranei, Insulele Baleare (Rose et al., 1999; Fornós et al., 2009), Italia, Alghero (Sardinia) (Andrecuci et al., 2009; Pascucci et al., 2014), Liguria (Pappalardo et al., 2013), Toscana (Mauz et al., 2013), estul Mediteranei, Israel (Fenchen et al., 2004, Sivan și Porat, 2004) Africa, Egipt (El-Asmar și Wood, 2000), Africa de Sud (Bateman et al., 2011, Rowell et al., 2018) sau Australia, Bermuda (Hearty, 2002).

Fezabilitatea aplicării protocolului SAR pentru datarea eolianitelor în Insulele Baleare a fost investigată în detaliu prin studiul efectuat pe probe din Ibiza de Anechietei-Deacu et al. (2018). În studiul indicat a fost demonstrat că semnalele OSL ale cuarțului sunt dominate de componenta rapidă, formele semnalelor OSL pentru probele investigate fiind identice cu cele obtinute pentru cuartul de calibrare. S-a demonstrat de asemenea că semnalele sunt stabile din punct de vedere termic. Pe baza testelor de preîncălzire efectuate a fost selectată o temperatură de preîncălzire de 220°C pentru o durată de 10 s cuplată cu o încalzire până la 180°C înainte de citirea semnalului aferent dozei test. Testele de recuperare a dozelor au fost efectuate cu rezultate satisfăcătoare, iar testele de depletare și reciclare în infraroșu au dus la rezultate excelente, fără a fi excluse alicote, o tendință generală urmată de toate probele investigate în această teză. Am arătat în plus că, indiferent de dimensiunea granulelor investigate, pot fi determinate cu acuratete doze de până la cel puțin 200 Gy. Deoarece debitul dozei variază de obicei între 0,5 și 1 Gy/ka pentru esantioanele investigate în studiile noastre, vârstele de cel putin 400 ka pot fi determinate prin aplicarea procedurilor de măsurare de ultimă generație în cazul acestor probe, iar pentru debite mai mici, de 0.2 Gy / ka, vârste de până la 1 Ma pot fi atinse.

Depozitele pleistocene de apă puțin adâncă și cele continentale aflorează aproape continuu de-a lungul coastei Insulelor Pitusice (Figura 1), această zonă fiind stabilă din punct de vedere tectonic (Sàbat et al., 2011; Just et al., 2011). Micul arhipelag al Pitusicelor este compus din două mari Insule: Ibiza și Formentera și alte insule mai mici. Acestea formează partea emergentă a blocului sudic al promontoriului Balear situat în partea de vest a Mediteranei. Insulele Es Freus sunt separate de Formentera printr-un pasaj îngust și superficial (50 m lățime, -2m adâncime). Litologia insulei Ibiza este compusă în principal din calcare jurasice cutate, marne cretacice și marne miocene (Garcia de Domingo et al., 2009). Formentera este compusă în principal din depozite miocene și cuaternare. Aceste depozite cuaternare, din ambele insule, se situează peste depozite jurasice, cretacice și miocene care umplu văile și depresiunile centrale ale insulelor și acoperă majoritatea secțiunilor de coastă. Secvențele pleistocenice caracterizate prin depozite eoliene și coluviale sunt situate de-a lungul coastelor stâncoase (del Valle et al., 2016). Regiunea studiată cuprinde următoarele locații Ibiza: Cap Negret, Punta de sa Pedrera, Cala Bassa, Cala Compte și Ses Salines; Es Freus: Espalmador și Formentera: Cala Sabina și Cala en Baster. Toate sectoarele sunt caracterizate de depozite eoliene cu depozite coluviale și paleosoluri intercalate. Secvențele pleistocene sunt delimitate de o neconformitate care acoperă subasmentul de vârstă miocen inferioară alcătuit dintr-un con aluvial conglomeratic sau din dolomite masive jurasic inferioare. Succesiunile sedimentare pleistocence care contin eolianite, în Ibiza, prezintă tipuri variate de depozite caracterizate prin faciesuri coluviale intercalate cu paleosoluri și cu faciesuri marine puțin adânci. Geomorfologia costieră și paleotopografia subasmentului contribuie la arhitectura complexă a acestor depozite (Pomar et al., 2015; del Valle et al., 2016).



Figura 1. A) Localizarea insulelor Pitusice B) Harta geologică simplificată a insulelor Pitusice Ibiza și Formentera C) Harta geologică simplificată a insulei Es Freus.

Instrumentație și metode de analiză

În cadrul acestui studiu a fost folosită metoda convențională de prezentare litostratigrafică (Tucker, 1988) la care se adaugă analiza direcției paleocurenților în funcție de înclinarea stratelor precum și analize granulometrice și mineralogice.

O sută nouă coloane stratigrafice au fost investigate și corelate pe baza neconformităților majore și a unităților omogene, a suprafețelor de delimitare sau în funcție de prezența depozitelor pedogenetice continue. Au fost luate în considerare schimbările majore ale faciesurilor pe verticală și lateral. Unitățile majore au fost caracterizate în ceea ce privește granulometria, compoziția și mineralogia, discordanțele precum și arhitectura și asociațiile faciesale. Macrofauna fosilă atât marină cât și continentală a fost colectată pentru identificarea sa taxonomică acolo unde a fost posibil.

Secțiunile subțiri au fost analizate utilizând un microscop optic (NATIONAL Digital Microscope), împreună cu microscopul binocular cu software-ul MOTIC Image 2.0, iar analiza granulometrică a fost efectuată folosind software-ul de analiză a imaginii

IMAGEJ, care permite măsurarea mărimii granulelor (eșantionarea a 20 de granule pe fotografie și calcularea mediei axei majore) și determinarea compoziției (categorii: bioclaste, litoclaste sau altele). Conținutul mineralogic a fost determinat cu jutorul unui difractometru cu raze X Bruker D8-Advance, utilizând pulberi pretratate cu H_2O_2 pentru a îndepărta materia organică. Spectrele de difracție pe pulberi au fost înregistrate de la 3º la 65º 20 în trepte de 0,03º. Analiza calitativă și cantitativă a spectrelor a fost făcută folosind software-ul Diffrac EVA v.4.1.

Determinarea culorii probelor analizate s-a realizat prin compararea acestora cu Sistemul Munsell, fiecărei probe fiindu-i conferit un cod de culori.

Douăzeci și nouă de eșantioane au fost colectate în total pentru datarea prin luminescență stimulată optic din stratele reprezentative pentru secvențele de la Cap Negret (5 probe), Punta de sa Pedrera (3 probe), Cala Bassa (3 probe), Cala Compte (4 probe), Cala en Baster (5 eșantioane), Ses Salines (4 eșantioane), Espalmador (5 eșantioane).

Extragerea cuarțului utilizat pentru analize s-a realizat în laborator, din partea interioară a fiecărei probe pentru a evita ca materialul utilizat să fi fost expus la lumina soarelui. Materialul a fost tratat în mod repetat cu acid clorhidric (35%) pentru îndepărtarea carbonatului de calciu și cu apă oxigenată (30%) pentru îndepărtarea materiei organice. Fracțiunea grosieră (> 63 μ m) a fost separată prin cernere uscată. Pentru izolarea cuarțului de feldspații plagioclazi și alte minerale s-a efectuat un tratament cu acid fluorhidric 40% (HF). Acest atac coroziv a îndepărtat și suprafața exterioară a granulelor de cuarț, reducând contribuția radiației ionizante alfa la un nivel neglijabil. Fluorurile precipitate după atacul cu HF au fost îndepărtate cu un tratament cu HCI (10%) de 60 de minute.

Măsurătorile de luminescență au fost efectuate folosind un cititor TL/OSL Risø DA-20, echipat cu un sistem automat de detectare și stimulare (DASH) (Lapp et al., 2015). Semnalele de luminescentă au fost detectate cu ajutorul unui fotomultiplicator PDM 9107Q-AP-TTL-03, utilizând filtre UV Hoya U-340 cu grosimea de 7,5 mm. Iradierea probelor a fost efectuată utilizând sursa beta încorporată ⁹⁰Sr-⁹⁰Y, calibrată cu cuarț de calibrare iradiat gamma (Hansen et al., 2015). Debitul dozelor pentru granule de cuart depuse pe discuri de otel, în momentul efectuării măsurătorilor au fost 0,149, 0,0943 și 0,0938 Gy/s în cazul celor trei cititoare utilizate. Investigațiile de luminescență au fost efectuate pe o singură probă, utilizând protocolul regenerativ (SAR) (Murray și Wintle, 2000, 2003). Stimularea semnalelor de luminescentă a fost făcută cu diode emitătoare de lumină albastră pentru un timp de 40 s la temperatura de 125°C. Semnalul net a fost cuantificat integrând primele 0,308 s ale semnalului OSL folosind ca fond intervalul 1,69-2,30 s. Temperatura de preîncălzire a fost de 220°C pentru 10 s, iar prealabil înregistrării semnalului generat de doza test a fost aplicată o încălzire la 180°C. Mărimea dozei test utilizată pentru a corecta posibilele schimbări de sensibilitate a fost de 16 Gy.

La sfârșitul fiecărui ciclu SAR a fost efectuat un tratament de stimulare termică la temperatură înaltă. Astfel, eșantioanele au fost iluminate cu diode albastre pentru un timp de 40 s la temperatura de 280°C (Murray și Wintle, 2003). Faptul că semnalul este dominat de emisii provenite de la cuarț a fost evaluat folosind răspunsul de luminescență stimulată în infraroșu (IRSL) la 60°C la o doză β regenerativă. O sensibilitate semnificativă la stimularea în infraroșu reprezintă o contaminare a probei cu feldspați (Duller, 2003). Activitățile specifice radionuclizilor (Ra-226 și urmași,

presupuse în echilibru cu U-238, ale Th-232 și urmașilor, cât și a K-40) pentru estimarea dozei anuale sau a debitului dozei au fost măsurate prin spectrometrie gamma de înaltă rezoluție. Debitele dozelor au fost determinate pe baza factorilor de conversie tabelați de Adamiec și Aitken (1998).

Factorul de atenuarea a radițiilor beta luat în considerare pentru fracțiunea de cuarț de 63-250 μ m a fost de 0,900 \pm 0,060. De asemenea, s-a luat în considerare un debit al dozei interne de 0,010 \pm 0,002 Gy/ka (Vandenberghe et al., 2008). Debitul dozei aferent radiațiilor cosmice a fost calculat utilizând ecuațiile publicate de Prescott și Hutton (1994). O valoare a conținutului de apă de 3% (cu o eroare relativă de 25%) a fost luată în considerare pentru corecțiile de umiditate în calculul vârstei. Această valoare medie relativă a umidității este similară cu valorile raportate anterior pentru alte probe de eolianite din această zonă (i.e. Fornós et al., 2009; Del Valle et al., 2016).

Rezultate

Faciesuri sedimentare și descrierea paleosolurilor

Sedimentologia și analizele stratigrafice efectuate au permis identificarea a trei asociații faciesale majore și a două paleosoluri diferite (Figura 2).

Faciesuri eoliene

Acestea sunt caracterizate prin: culoare albă la nivelurile superioare până la maro foarte deschis la nivelurile inferioare; prezența unui nisip bioclastic bine sortat, fin până la mediu granulat (125-250 μ m), cu strate caracterizate printr-o stratificație laterală încrucișată, cu unghiuri care descresc de la 30° la 10°. Stratele au de la 0.7 la 3 m grosime iar în cele mai multe cazuri partea superioară a acestora este afectată de distribuția pe verticală a rădăcinilor (1- 6.5 cm înălțime și 0.20 – 1 m lungime). Acestea sunt compuse în principal din carbonați (94%), din bioclaste marine cu foarte puțin material terigen. Conform analizei prin difracție de raze X, nivelurile eoliene superioare arată un procent ridicat de aragonit ~ 51% și calcit ~ 48%, urmate de dolomit. În nivelurile eoliene inferioare, mineralul predominant este calcitul, cu o medie de 93-99%.

Faciesuri coluvial-aluviale

Au fost descrise două niveluri. Primul se caracterizează printr-o brecie cu cumentic siltic roșiatic, cu claste unghiulare și heterometrice, formând strate de grosimi milimetrice până la centimetrice, intercalate cu depuneri de carbonat de calciu. Unele strate de brecie se transformă lateral în structuri în formă de lentile. Compoziția mineralogică a matricei este dominată de silicați (60%). Aceste faciesuri sunt interpretate ca depozite de pantă.

Al doilea tip este format dintr-o gresie subangulară, în care nu se observă o orientare specifică a clastelor. Cimentul acestor gresii este format dintr-un nisip bioclastic fin până la mediu granulat. Compoziția mineralogică este dominată de calcit (53,9%) și aragonit (46,1%). Acest facies este interpretat ca o umplutură de canal compusă din gresii și conglomerate.

Faciesuri marine puțin adânci

Aceste faciesuri se caracterizează prin strate masive (grosime maximă în jur de 40 cm) cu claste subrotunjite/rotunjite în mare parte cu formă discoidală și interstiții umplute cu nisip cu granulație medie până la grosieră bogat în bioclaste și fosile marine. Culoarea este maro foarte deschis. Compoziția mineralogică este dominată de calcit (55%) și aragonit (45%).

Paleosolurile

În termeni generali, se observă două tipuri de paleosoluri. Primul tip este caracterizat de o textură masivă nisipoas-siltică, puternic afectată de bioturbații. Culoarea sa este maro deschis. Acest tip de paleosol conține faună terestră (de exemplu melcul endemic *Xerocrassa ebusitana* și urme de insecte fosile). Acest paleosol nisipos prezintă grosimi variabile, variind lateral de la 0,5 m la 1,5 m. În general, în partea superioară, se observă calcrete groase de până la 5 cm care acoperă paleosolul. Compoziția siltului și nisipului este dominată de carbonați (~ 80%) cu calcit ca mineral major (57%), urmat de aragonit cu abundența de 23% și cantități minore de cuarț (2%).

Al doilea tip de paleosoluri se caracterizează prin argile și silturi ce conțin benzi de fier de culoare galben roșcate. Conținutul mineralogic prezintă 56% minerale argiloase, din care ilitul reprezintă 40%, 20% cuarț și un conținut minor de calcit (11%). Calcretele au fost observate local alături de orizontururi pisolitice și urme vegetale abundente. Nivelurile de paleosol formate din marne roșii prezintă diferite grosimi, variind lateral de la 0,10 m la 0,5 m.



Figura 2. Fotografie a depozitelor sedimentare pleistocene de pe coasta de est a insulei Formentera.

Vârstele OSL și comportamentul extractelor de curț în protcolul de măsurare SAR

Așa cum s-a raportat anterior pentru această regiune (Anechitei-Deacu et al., 2018), cuarțul din eolianitele din Insulele Pitusice prezintă semnale OSL dominate de componenta rapidă, așa cum arată dezintegrarea rapidă din timpul stimulării optice. De asemenea, forma semnalului OSL natural este similară cu forma semnalelor obținute în urma aplicării dozelor regenerative. Comportamentul semnalelor pentru determinarea dozei echivalente utilizând protocolul SAR a fost testată prin efectuarea de teste de

repetabilitate, de depletare în infraroșu (IR) și teste de recuperare pentru fiecare alicotă investigată. Pragurile indicilor de repetare și depletare IR au fost stabilite între 0,9 și 1,1. Mai puțin de 5% din alicotele investigate au fost respinse pe baza acestor criterii. Valorile de recuperare în limita a 0,2% din semnalul natural au fost prezentate de toate alicotele investigate. Dozele echivalente (De) au fost determinate prin interpolarea semnalului OSL natural corectat pentru schimbările de sensibilitate pe curba de răspuns la doză care a fost construită pentru fiecare alicotă în parte. Relația de răspuns a semnalului în funcție de doză a fost descrisă corespunzător de o sumă a două funcții exponențiale de saturație (Figura 3).



Figura 3. A) Semnalul OSL natural comparat cu semnalul obținut în urma aplicării unei doze regenerative. B) Curbă reprezentativă a relației dintre semnalul luminescent şi doza aplicată pentru o probă de cuarț cu granulația de 63-250 μm investigată în această teză.

Trebuie remarcat faptul că deși au fost obținute și discutate vârste foarte mari (cel puțin din prespectiva conventională a vârstelor care pot fi obtinute prin aplicarea datării prin luminescență), acest lucru se datorează conținutului foarte scăzut de elemente radioactive din probe și a ratei corespunzătoare a dozei și nu dozei echivalente. În ceea ce priveste dozele echivalente obtinute pentru toate probele investigate, acestea sunt mai mici de 250 Gy. Anechitei-Deacu et al. (2018) au prezentat teste extinse de recuperare a dozei pe probe de cuart de la Cala Bassa, atât prin administrarea de doze artificiale după resetarea semnalului în laborator, cât și prin administratea acestor doze adițional dozei naturale acumulate. Investigatiile lor au confirmat că dozele echivalente mai mici de 250 Gy pot fi determinate cu acuratețe, mai ales atunci când se utilizează granule de cuart grosier (> 63 μ m). În ceea ce privește dozele anuale, s-au făcut eforturi pentru determinarea acestora cu cât mai bună acuratete și precizie. Pentru a avea o statistică de numărare cât mai bună, înregistrarea spectrelor gamma a fost efectuată pentru o durată foarte lungă, de peste 200 ks. În cazul esantioanelor analizate, verificarea posibilității existenței dezechilibrului radioactiv a fost dificilă, din cauza radioactivității foarte scăzute a materialului. Cu toate acestea, este rezonabil să presupunem că, datorită naturii materialului cât si a formării acestuia, existenta echilibrului radioactiv este o asumpție corectă. Prezența rizoconcrețiilor (acumulări minerale pedodiagenetice în jurul rădăcinilor de plante vii sau moarte; Klappa, 1980) este un indicator pentru cimentarea rapidă, iar vârste tinere au fost raportate în literatura de specialitate pentru eolianite în diferite locuri, ceea ce indică o cimentare rapidă a carbonatului după depunere.

Mai mult, pentru un eșantion s-a efectuat o intercomparare între rezultatele obținute prin metoda spectrometriei gamma și măsurători de numărare beta (Cunningham și colab., 2018), ultimul tip de analize fiind efectuate în cadrul Universității Tehnice din Danemarca. Luând în considerare măsurătorile efectuate prin spectrometrie gamma a rezultat un debit al dozei beta plus gamma de 0,258 Gy/ka, în timp ce pentru numărare beta valoarea obținută a fost 0,251 Gy/ka. Astfel, corelarea excelentă dintre valorile raportate ne oferă încredere în rezultatele obținute.

Vârstele OSL obținute ilustrează faptul că depozitele studiate pot fi încadrare cronologic de la stadiul izotopului marin MIS 6 până la MIS 22 pentru coasta de vest a Ibizei, de la MIS 3 la MIS 5 în Cala Baster (nordul Formenterei) și de la MIS 5d până la MIS 16 în sudul Ibizei-Es Freus- Cala Sabina (Formentera).

Stratigrafia zonei studiate

Pe baza analizei principalelor suprafețe erozionale, a paleosolurilor și neconformităților au fost observate șaisprezece unități (Figura 4,5,6,7). Neconformitățile pot fi urmărite în toate zonele studiate. Depozitele eoliene reprezintă stratele cele mai groase și cele mai continue din zona studiată. Acestea prezintă o schimbare laterală a faciesurilor sedimentare datorită orientării coastei, precum și datorită paleotopografiei subasementului.

Unitatea inferioară U1 observată la Cap Negret este compusă dintr-un facies eolian ce prezintă strate de paleosol siltic intercalate. Acest paleosol conține niveluri cu claste subangulare și heterometrice, provenind din subasment. Nivelurile eoliene reprezentate prin strate de nisip și mici dune în formă de U prezintă modificări laterale, fiind mai groase spre mare și mai înguste spre interior. Înclinația este NNE, indicând faptul că duna a migrat spre interior datorită direcției dominante a vântului SSV. Unghiul de orientare a stratului încrucișat crește de la 5º la 15º spre interior -100º / 5-15N-. Acest depozit eolian acoperă un paleosol siltic.

Unitatea U2, care aflorează la Cap Negret și Punta de sa Pedrera, prezintă o grosimee care descrește între cele două zone de studiu. Această unitate este compusă dintr-un facies eolian și un paleosol siltic. În partea superioară, unitatea U2 este delimitată de o neconformitate interpretată ca având origine coluvială. Scăderea treptată a mărimii clastelor spre stratele superioare indică o scădere a energiei vântului care se reflectă în prezența unui strat de paleosol continuu în partea superioară și care se extinde lateral în întreaga unitate. Nivelul eolian este reprezentat de dune în formă de U care au evoluat spre dune cățărătoare cu migrație activă spre interior pe direcția ENE. Stratele încrucișate au un unghi mai mare spre partea superioară, de 30 -165°/32°E orientare SE, local în Cap Negret unghiul scade treptat până la stratificarea orizontală. Nivelul eolian anterior din Cap Negret atinge o grosime de patru metri în zona Punta de sa Pedrera și migrează spre interior perpendicular pe coastă datorită unui relief cu o pantă mult mai mică decât în Cap Negret. Direcția medie predominantă a vântului a fost de VSV.

Unitatea U3 este expusă între Cap Negret, Punta de sa Pedrera, Cala Compte și s'Espalmador. Această unitate este alcătuită din două niveluri eoliene și faciesuri coluviale. Nivelurile de facies coluvial din bază sunt acoperite de nivelurile de facies eolian care repauzează pe o suprafață erozională. Strate subțiri de travertin pot fi observate în partea superioară a unității, acoperind sedimentele eoliene. Dunele prezintă o direcție medie de orientare 040°/25-30°SE (25-30°) și o grosime constantă în toate

zonele. Aceasta indică o schimbare relativă a direcției predominante a vântului spre componenta sudică. În plus, diferențele în migrația dunelor sunt observate în funcție de zona de studiu, astfel procesul de sedimentaree se observă la Cala Compte în timpul vântului predominant SE, datorită orientării și topografiei litoralului. Această sedimentare nu are loc pe partea de nord a Capului Negret, Punta de Sa Pedrera sau în Espalmador, dar are loc în perioada când direcția vântul a fost predominant NV. Această unitate este interpretată ca un câmp de dune în formă de U care migrează spre interior. Nivelurile eoliene se schimbă în grosime și sunt separate de mai multe lentile de paleosol.

Unitatea U4 poate fi împărțită în două subunități (U4a și U4b). U4a a fost observată în aflorimentele de la Cala Compte și este compusă din faciesuri eoliene și un paleosol argilos. Expoziția paralelă și perpendiculară cu coasta, a nivelului eolian, arată o structură internă cu un unghi de orientare de 030°/20-25°SE, ceea ce sugerează că această dună este o dună sub formă de U și migrează oblic spre coastă –SE- cu o direcție predominantă a vântului NV. Pe de altă parte, subunitatea U4b este compusă dintr-un facies eolian și din diferite tipuri de paleosoluri. În partea superioară a unității se observă niveluri cu calcrete cu pisoliți. Această unitate reprezintă un câmp de dune în formă de U care migrează spre interior - NV - către zona Cala Compte; stratele încrucișate au unghiuri de orientare mai mari de 30° NV, care scad treptat până la stratificare orizontală 5° NV (033° / 30-35 NW). Aceaste dune indică o schimbare predominantă a vântului de la NV la SE. Acest lucru se datorează orientării coastei Cala Compte spre V-SV. De asemenea, celelalte zone de studiu sunt protejate de insula Sa Conillera.

Unitatea U5 este observată în aflorimentele de la Cala Compte și Cap Negret. Se compune din faciesuri eoliene și diferite paleosoluri. Nivelurile eoliene cresc în grosime spre partea stâncoasă, prezentând o stratificare încrucișată la unghi ridicat de până la 35°, cu strate care arată o direcție medie de orientare 029°/35°E, indicând un vânt predominant din NV-VNV. Se observă niveluri de paleosoluri cu formă concavă înglobate în nivelurile eoliene, posibil formate în depresiunile interdune (coridoarele dunelor). Faciesul eolian din această unitate prezintă diferențe locale, în special în ceea ce privește grosimea, fiind mai groase în Cala Compte și mai reduse în Cap Negret. Acest lucru se datorează vântului predominant în momentul formării dunelor care era din NV. Cel mai evident motiv este orientarea coastei și prezența insulei sa Conillera, o mică insulă care acționează ca o barieră asupra zonei Cala Bassa și Punta de sa Pedrera pentru vânturile din vest. De asemenea, trebuie remarcat faptul că aceste zone sunt orientate spre nord și nord-est.

Unitatea U6 este prezentă în aflorimentele de la Cap Negret și Punta de Sa Pedrera și constă dintr-un paleosol nisipos și un facies eolian. Acest nivel este reprezentat de mici dune în formă de U. Direcția medie de orientare este NV, cu un unghi al stratificării de 048°/15 - 20° NV. În plus, paleosolul nisipos crește în grosime atingând aproape 1,5 până la 2 m în Cap Negret și prezintă noduli carbonatici abundenți. Vântul predominant a rămas același ca în unitatea anterioară –SE-SSE-, cu unele ușoare modificări în funcție de orientare și de caracteristicile topografice ale zonei.

Unitatea U7 este prezentă la Punta de sa Pedrera, la Cala Bassa și în aflorimentele din Espalmador. Este compusă din faciesuri eoliene și un paleosol nisipos. La vest de Punta de sa Pedrera se observă un paleosol. Deasupra acestui nivel există o unitate de faciesuri eoliene reprezentată de mici dune în formă de U suprapuse care migrează spre interior (-

ESE- (015°/12 - 26° E) evidențiind o direcție predominantă a vântului dinspre VNV. Sunt observate orizonturi pedogenetice lenticulare interpretate ca mici iazuri interdune.

Unitatea U8 a fost observată doar în aflorimentul de la Cala Bassa. Această unitate este compusă dintr-un facies eolian și două paleosoluri. Faciesul eolian este interpretat ca o dună în formă de U care migrează spre interior în Cala Bassa transformându-se în mici dune de cățărare spre interior, cu o direcție de migrație SSV. Stratele încrucișate prezintă unghiuri de 108°/5-15° S care scad treptat până la stratificare orizontală. Grosimea acestui nivel scade pe măsură ce migrează spre interior. Principalul motiv pentru care aceste dune se pot găsi doar cu o migrație interioară față de coasta de la Cala Bassa se datorează vântului predominant dinspre N și NE.



Figura 4. Reprezentarea stratigrafică a coloanelor studiate la A) Cap Negret, B) Punta de sa Pedrera, C) Cala Bassa și D) Cala Compte.



Figura 5. Coloane stratigrafice studiate la Espalmador (insulele Es Freus).



Figura 6. Coloane stratigrafice la Ses Salines (Ibiza), insulele es Freus islets și Cala Sabina (Formentera).



Figura 7. Coloane stratigrafice ale aflorimentelor studiate la Cala en Baster, partea de est a insulei Formentera.

Unitatea U9 a fost observată în aflorimentele de la Cala Bassa, Cala Compte, Ses Salines, Espalmador și Cala en Baster. Această unitate este separată de unitatea U8 printr-o neconformitate erozivă. Arhitectura faciesurilor și modelele de succesiune ale depozitelor arată trei subunități eoliene clare, separate prin paleosoluri (U9a, U9b și U9c). Subunitățile U9a și U9b sunt compuse dintr-un facies eolian și un paleosol. Subunitatea U9c este compusă dintr-un facies eolian și un paleosol nisipos. Faciesul eolian este reprezentat de dune. Grosimea acestor depozite scade spre interior iar analiza paleocurenților oferă informații legate de existența unui transport eolian către SSE. Stratele încrucișate au un unghi înspre partea superioară de 25° care coboară spre S - 085°/20-25°S, indicând o direcție predominantă a vântului NV-NNE. De asemenea, diferențele observate în analizele granulometrice, indică momente de intensitate mai mare a vântului.

Unitatea U10 corespunde unui nivel de plajă situat în partea de est a Espalmador și Cala Sabina, la aproximativ un metru deasupra nivelului actual al mării. De asemenea, în condițiile calde și umede, s-au format lagune interdune, în special în Ses Salines (112 \pm 8 ka).

Următoarea unitate (U11) corespunde unei faze eoliene datată la 104 ± 9 ka în Ses Salines și cu vârste de 106 ± 10 ka și 108 ± 8 ka obținute în Espalmador. Aceste vârste indică formarea sa în timpul etapei regresive MIS 5d.

În cursul MIS 5c/b (Unitatea U12) s-au format paleosoluri în partea superioară a micilor dune în formă de U din s'Espalmador, es Freus, Cala Sabina și Ses Salines. Pe insula vecină Mallorca au fost studiate paleosoluri similare care au fost interpretate ca reflectând perioade cu temperaturi mai calde și condiții variabile de ariditate (Wagner și colab., 2014). La Cala en Baster unitatea U12 este delimitată de o neconformitate interpretată ca o suprafață erozivă dezvoltată în timpul regresiei nivelului mării în timpul tranziției MIS 5c la MIS 5b, vârstă confirmată de datarea OSL (91 \pm 9 ka), deasupra căreia se găsește unitatea marină superficială U13 (MIS 5a). Unitatea coluvială U14 (tranziția MIS 5 la MIS 4) se găsește pe un nivel de neconformitate cu unele structuri de sedimente moi, dezvoltate probabil în timpul unei creșteri relativ minore a nivelului mării sau în timpul unui episod de schimbare a climatului.

Unitatea U15 constă din depozite de dune eoliene, prezente în aflorimentele din Cala en Baster. Pe baza vârstelor OSL (72 ± 7 ka), această unitate corespunde stadiului glaciar MIS 4. Structurile și dispunerea stratelor din această unități indică un vânt predominant din NNE-NE, care ar fi provocat migrația dunelor peste unitatea coluvială (U12). Este remarcabil faptul că nisipul constituie cele mai importante niveluri din zona studiată, în termeni de volum. Unitatea U16 este împărțită în două subunități (U16a și U16b). Prezentă doar în Cala en Baster aceasta este compusă din depozite de nisip eolian și este interpretată ca o suprafață regresivă dezvoltată în timpul unei scăderi minore a nivelului mării. Depozitele de interdune umede, precum și continuitatea grosimii unității de-a lungul succesiunii pleistocene arată cantitatea mică de sedimente disponibile comparativ cu unitatea anterioară. Subunitatea U16b este o unitate coluvială prezentă în Cala en Baster și Cala Sabina. Pe baza vârstelor OSL obținute pe probe din unitatea U16b ($70 \pm$ 6 ka și 67 ± 5 ka), unitatea este alocată tranziției perioadei glaciare MIS 4 la interglaciarul MIS 3.

Discuție-Controale climatice pentru evoluția peisajului și modelul de evoluție depozițională

Depozitele carbonatice eoliene intercalate cu depozite coluviale, depozite marine si paleosoluri sunt caracteristice sedimentelor costiere depuse în timpul Pleistocenului, în Insulele Pitusice. Aceste succesiuni corespund oscilațiilor eustatice, fiind legate de perioadele glaciare și interglaciare, precum și de episoadele de încălzire și răcire relativ rapide (Lowe și Walker, 2015). În perioadele interglaciare depozitele preexistente au fost erodate și reciclate, dezvoltând niveluri de plajă pe platforme înguste de pe țărm, tăiate de valuri. Apoi, în perioadele de răcire, pe lângă depozitele eoliene s-au format depozite coluviale și aluviale costiere, iar dunele au migrat spre uscat odată cu scăderea nivelului mării, ceea ce a dus la expunerea platformei continentale (Pavelic et al., 2011; Andreucci et al., 2014). Odată cu apariția condițiilor climatice glaciare, câmpuri extinse de dune au migrat dinspre zona costieră spre self (del Valle, 2016; Pomar, 2016). Modificările proceselor geomorfologice (formarea plajelor, a conurilor aluviale și a câmpurilor de dune) care se manifestă pe coastă sunt condiționate de disponibilitatea sedimentelor și de existența unui spațiu suficient pentru dezvoltarea proceselor care generează fluctuațiile nivelului mării (Miall, 1996, Muto și Steel, 2000, Miall, 2010). Analizele sedimentologice efectuate pe mai multe niveluri de gresie au arătat că principala sursă a acestor sedimente sunt nisipurile marine și că eolianitele sunt formate din nisipuri bioclastice bine sortate, indicând faptul că zona sursă a fost cea de coastă. Compoziția lor mineralogică este dominată de calcit (> 80%).

În ceea ce privește compoziția sedimentului, există o prezență mai mare de fragmente scheletice carbonatice, fragmente de cochilii de moluste, echinoderme, alge rosii, foraminifere, briozoare și unele litoclaste. Mai mult, succesiunile indică mai multe schimbări bruste ale tipului de sediment, sedimentele siltice aproape dispar, ducând la acumularea unor cantități mari de sedimente bioclastice. Aceste caracteristici indică faptul că proveniența sedimentului este legată de zona de coastă a platoului continental. Pe de altă parte, creșterea temperaturii și creșterea nivelului mării împiedică aportul de sedimente eoliene și o umiditate mai mare favorizează dezvoltarea vegetatiei și formarea solului. Astfel, în perioadele mai calde, fluxurile de vânt nordic au fost reduse, generând presiuni mai scăzute asupra Mediteranei de Vest, ceea ce a stimulat masele de aer cald din Africa de Sud (Kaspar et al., 2007; Moreno et al., 2002; Bardají et al., 2009). Acest aport de aer cald generează deseori ploi de praf care au dus la formarea majorității solurilor din Baleare (Fornós et al., 1997; Moreno et al., 2002; Fornós et al., 2004; Fiol et al., 2005; Muhs et al., 2010). Morfologia reliefului litoral, format în principal din stânci alcătuite din roci jurasic inferioare cutate și sedimente miocene, împreună cu modificările direcției vântului, au controlat arhitectura generală a corpurilor sedimentare. Morfologia acestor roci exercită un control local secundar asupra proceselor de sedimentare și a dezvoltării faciesurilor. În plus, modificările directiei vântului care interactionează cu relieful și orientările de coastă au dus la schimbări locale în grosimea corpurilor sedimentar și a faciesurilor. Acești factori au ca rezultat o arhitectură complexă cu variabilitate laterală mare. Arhitectura corpurilor sedimentare observate este interpretată prin existența a trei medii eoliene sedimentare majore: dune de cățărare, dune în formă de U și strate de nisip. Prin urmare, formarea dunelor este controlată în principal de nivelul mării (spatiu de acomodare, disponibilitatea sedimentelor), dar ceea ce controlează tipul de dune este relieful (orientarea coastei, morfologia terenului) supus interacțiunii vântului.

Investigațiile sedimentologice și cronologia OSL prezentate permit identificarea principalelor episoade eoliene, precum și reconstituirea evoluției peisajului din Ibiza între 800-900 ka și 67 ka (MIS 22 până la MIS 4/3). Astfel, cele șaisprezece unități diferențiate indică douăsprezece perioade de sedimentare eoliană care relevă condițiile

de mediu aride asociate scăderii nivelului mării. Aceste sedimente eoliene sunt separate de paleosoluri reprezentative pentru condiții mai calde și relativ mai umede. Paleosolurile argiloase siltice, care în unele cazuri prezintă bioturbații pronunțate și o culoare roșiatică datorită rubefacției, indică o creștere a nivelului precipitațiilor (Wagner et al., 2014). Depozitele pleistocene expuse de-a lungul coastei de vest prezintă punctual orizonturi cu calcrete și pisolite care indică evenimente de ariditate (Flügel., 2014). Opus, prezența travertinelor cu structuri laminare ar putea indica existența condițiilor de curgere a apei (Claes et al., 2015; Toker et al., 2015).

Figurile 8, 9, 10 prezintă schematic modelele depozitionale descrise.

Considerând datele cronologice obținute, cel mai vechi nivel eolian a fost datat la 754 \pm 79 ka (MIS 22). Acest nivel corespunde unității U1 observate în aflorimentele din Cap Negret și Punta de sa Pedrera. Considerând intervalul de eroare, acest nivel poate corespunde stadiului izotopic marin MIS 22 sau MIS 18. În timpul ambelor stadii marine nivelul mării a scăzut la -90/-110 m comparativ cu nivelul actual al mării (Silva et al., 2009).

Al doilea nivel eolian (unitatea U2) prezintă o vârstă de 747 ± 33 ka. Unitatea U2 este astfel, atribuită stadiului izotopic MIS 18. În această perioadă, nivelul mării a scăzut la - 110 m față de nivelul mediu actual (Silva și colab., 2009). Absența rizoconcrețiilor este interpretată ca o lipsă a vegetației și, prin urmare, probabil dunele s-au format într-o perioadă foarte aridă. În diferite aflorimente acest nivel de dune stă peste nivelul eolian anterior. Nivelul crescut al mării a întrerupt formarea dunelor și a favorizat formarea solurilor. Unele secțiuni prezintă paleosoluri care ar putea corespunde cu acest moment de biostazie. În partea superioară a complexului pedogenetic se pot observa mici dune în formă de U, indicțnd un puls eolian.

Deasupra celei de-a doua faze de formare a dunelor a fost observat un nivel coluvial cu arhitectură caracteristică de sedimente de câmpie aluvionară. Este intercalat între două niveluri eoliene datate la 747 ± 33 ka și 695 ± 77 ka (Cap Negret), corespunzând la MIS 18 și respectiv MIS 16. Astfel, este rezonabil să presupunem că aceste sedimente au fost depozitate în timpul MIS 17. Această perioadă este caracterizată de un nivel al mării de -20 m. Astfel, indică condițiile de mediu care se schimbă către un climat mai cald și mai umed care ar putea corespunde unei etape interglaciare.

A treia perioadă de formare a câmpurilor de dune pe coasta de vest a Ibizei și insulei Espalmador este caracterizată printr-un nivel eolian gros intercalat între nivelul coluvial descris mai sus și un paleosol. Aceste niveluri eoliene reprezintă dunele în formă de U aparținând unității U3, fiind datate la 695 ± 77 ka (MIS 16), 530 ± 52 ka (Punta de sa Pedrera) și 651 ± 52 ka (Espalmador). Această etapă izotopică se caracterizează printr-o scădere progresivă a nivelului mării, atingând - 130 m sub nivelul actual (Silva et al., 2009). Lamina din partea superioară a dunelor este modificată de vegetație, prezentând resturi de rizoconcreții care sunt calcificate, sugerând condiții mai puțin aride decât pentru fazele în care s-au format dunele anterioare. Nivelul coluvial din cadrul unității U3 reprezintă partea cea mai distală a unui con coluvial.

Modificările condițiilor de mediu sunt reprezentate de dezvoltarea paleosolurilor de argilă siltică, peste nivelul dunelor. Acest lucru este susținut de prezența unui nivel de travertin în zona Cap Negret și Cala Compte, care ar putea fi legat de aportul și circulația abundentă a apei, precum și de creșterea probabilă a temperaturii (Claes et al.,

2015; Toker et al., 2015). Acești factori atribuie probabil aceste niveluri de travertin și paleosol perioadei calde MIS 15 sau MIS 13. Există dovezi că în timpul tranziției de la perioada glaciară MIS 16 la MIS 15, nivelul mării a suferit o creștere bruscă a nivelului până la aproximativ - 10 m în MIS 15 (Silva et al., 2009).



Figura 8. Modelul evoluției depoziționale în perioada MIS 22 - MIS 6 pentru coasta de vest a Ibizei.



Figura 9. Modelul evoluției depoziționale în perioada MIS 16 - MIS 5 pentru Ses Salines- Es Freus- Cala Sabina.



Figura 10. Modelul evoluției depoziționale în perioada MIS 6 - MIS 4/3 pentru Cala en Baster, Formentera.

A patra perioadă de sedimentare eoliană observată pe coasta de vest și în insula Espalmador (unitatea U4) a fost datată la 464 ± 35 ka (Cala Compte) și respectiv 422 ± 36 ka (Cala Compte), corespunzând MIS 12. În timpul MIS 12 a avut loc o scădere a nivelului mării la -130 m (Waelbroeck et al., 2002, Rohling et al., 2009, Silva et al., 2009).

Conform curbei nivelului mării prezentată de Waelbroeck et al., (2002), în timpul MIS 12 au existat două maxime regresive: primul (MIS 12a) a avut loc în jurul valorii de 460 ka iar al doilea (MIS 12b) la 430 ka. Rezultatele datării OSL sugerează că au existat două perioade în care s-a manifestat o importantă sedimentare eoliană cu formarea dunelor cațărătoare de 1 până la 5 m grosime (unitatea U4) în timpul MIS 12. Se observă paleosoluri cu o concentrație mare de vegetație în spațiile dintre dune. Aceste paleosoluri reprezintă probabil iazuri mici formate în perioade mai umede.

Următoarea perioadă a activității eoliene (unitatea U5) a fost datată la 331 ± 27 ka (Cala Compte) și 390 ± 39 ka (Cap Negret) și corespunde la MIS 10. Această perioadă este caracterizată de un nivel marin scăzut, de -115 m (Silva și colab., 2009). Această perioadă de sedimentare eoliană reflectată în câmpul complex al dunelor în formă de U sugerează o perioadă lungă de ariditate intercalată cu perioade scurte, stabile și umede reprezentate de paleosoluri. În timpul tranziției de la MIS 10 la MIS 9 a existat o creștere rapidă a nivelului mării, ajungând până la 1 m peste nivelul actual (Zazo, 2006). În această perioadă stabilă și caldă solurile au proliferat. Cea de-a șasea perioadă de sedimentare eoliană observată este reprezentată de un nivel eolian subțire (unitatea U6) situat deasupra unui nivel de nisip siltic datat la 292 ± 29 ka (Cap Negret) și 293 ± 23 ka (Punta de sa Pedrera), corespunzător stadiului izotopic al MIS 9, probabil stadiului regresiv al MIS 9 b (295 ka). În perioada interglaciară, nivelul mării a fost probabil

aproape de nivelurile actuale. Dar în stadiul regresiv al MIS 9 b, nivelul mării a scăzut de la aproximativ -60 m (Rohling et al., 2009; Waelbrock et al., 2002) până la -70 m (Silva et al., 2009). Perioada eoliană este reprezentată de un nivel eolian gros, intercalat între depozitele coluviale și paleosoluri (unitatea U7) fiind datat la 236 ± 20 ka (Punta de sa Pedrera), 251 ± 16 ka (Cala Bassa) și 276 ± 24 ka (Espalmador). Această perioadă de sedimentare eoliană corespunde la MIS 8. Studii asupra speleotemelor din peșterile de coastă din Mallorca, au evidențiat o scădere a nivelului mării până la 23 m sub nivelul actual al mării în timpul etapei izotopice MIS 8 (Ginés et al., 2001). În acea perioadă, dunele în formă de U situate deasupra s-au dezvoltat sub un vânt cu direcție predominant vestică.

Faza a opt a sedimentării eoliene documentată în aflorimentele Cala Bassa și Cala Compte (unitatea U8) este reprezentată de un nivel eolian situat deasupra unui nivel de silt cu o vârstă de 236 ± 15 ka (Cala Bassa), corespunzător stadiul izotopic MIS 7, în special stadiului regresiv MIS 7d (230 ka). În acel moment marea a scăzut în jurul valorii de -75 m (Waelbroeck et al., 2002; Rohling et al., 2009; Silva et al., 2009). În timpul MIS 7, care reprezintă un episod cald, au apărut două perioade regresive (7d și 7b). Potrivit lui Shackleton și Vincent (1978) și Zazo (1999), nivelul mării în timpul MIS 7 a fost mai scăzut decât nivelul actual.

A noua activitate eoliană observată pe coasta de vest a Ibizei, Cala en Baster și Espalmador și documentată aici, corespunde penultimului stadiu glaciar MIS 6 pe baza vârstelor obținute de 172 ± 12 ka (Cala Bassa), 131 ± 11 ka (Cala Compte) și 183 ± 15 ka (Espalmador). Această perioadă se caracterizează printr-un nivel scăzut al mării (-90 m), care a suferit o scădere progresivă până la atingerea a -130 m (Sidall et al., 2003; Rabineau et al., 2006; Silva et al., 2009). În această etapă glaciară s-au format dune în formă de U. Sedimentele eoliene depuse în timpul MIS 6 au fost descrise și în zone din vestul Mediteranei, Insulele Baleare (del Valle et al., 2016; 2020; Pomaret al., 2018), Sardinia (Andreucci et al., 2009), dar de asemenea și pe coastele Israelului (Frenchen et al., 2004; Mauz et al., 2013).

Unitatea U10 corespunde unui nivel de plajă situat în partea de est a s'Espalmador și Cala Sabina, la aproximativ un metru deasupra nivelului actual al mării. Potrivit lui Butzer și Cuerda, 1962 și Nolan 1895, acest nivel de plajă conține macrofaună (*Thetystrombus latus*) ce corespunde cu maximul interglaciar MIS 5e. A zecea fază eoliană a fost datată la o vârstă de 104 ± 9 ka în Ses Salines și vârste de 106 ± 10 ka și 108 ± 8 ka în S'Espalmador. Aceste vârste sunt corelate cu etapa regresivă MIS 5d.

În timpul MIS 5c, un sistem litoral s-a dezvoltat pe câmpia de coastă, dominat de plaje largi nisipoase bogate în macrofaună (*Glycymeris violacescens*) (U13). Un număr variabil de niveluri crescute a mării a fost raportat pe baza studiilor de pe coastele spaniole în timpul MIS 5c, în Italia, Ligura (Pappalardo et al., 2013); în Toscana, Italia Central-Vestică (Mauz, 1999) în Sardinia, unde conform Andreucci et al. (2009, 2010a, 2010b) în Alghero MIS 5c a fost dominat de sisteme de plaje nisipoase de coastă progadaționale; Tunisia (Nathan și Mauz, 2008); Israel - Carmel Coast- (Sivan și Porat, 2004) și Alexandria, Egipt (El-Asmar, 1994; El-Asmar și Wood, 2000). La nivelul plajei s-au observat calcrete cu structuri de sedimente moi, împreună cu urme de insecte fosile. Insectele și bacteriile au jucat un rol în formarea calcretelor (Huerta et al., 2015). În MIS 5c s-au format paleosoluri în partea superioară a micilor dune în formă de U. Pe insula vecină Mallorca, paleosoluri similare au fost studiate și interpretate ca reflectând perioade cu temperaturi mai calde și condiții variabile de ariditate și acoperite de vegetație, caracteristice perioadelor cu nivel crescut al mării (Wagner et al., 2014). În următoarele etape de scădere a nivelului mării (MIS 5b/a), depozitele aluviale coluviale s-au dezvoltat pe pante de deal și pe șelful expus. Prima unitate aluvială este formată în principal din strate de conglomerate orizontale cu ciment siltic și câteva paleosoluri cu lentile formate din claste subangulare. Absența materialului bioclastic sugerează că aceasta este o adevărată unitate aluvială și este indicatoare pentru prima perioadă de dezvoltare a conurilor. De asemenea, în timpul Pleistocenului, formarea paleosolurilor în vestul Mediteranei, ca cele descrise în U13, a necesitat condiții mai calde și relativ mai puțin aride decât condițiile actuale (Potenciano et al., 1997; Wagner et al., 2014, Paskoff și Sanlaville , 1983; Mauz et al., 2013). În acest sens, Rose et al., (1999); Muhs et al., (2010) și Pomar et al., (2018) au descris procese pedogenetice importante în timpul tranziției MIS 5a la MIS 4 în insula vecină Mallorca și aceleași tipuri de soluri sunt prezente și pe coasta orientală a Mediteranei (Israel) (Mauz et al., 2013).

Tranziția de la MIS 5 la MIS 4 (aproximativ 75 ka) este marcată de o scădere rapidă a nivelului mării, de aproximativ 70 m (sub nivelul actual al mării) (Waelbroeck et al., 2002; Pascucci et al., 2014; Pomar et al., 2018). În această perioadă s-a format un câmp cu dune extins (unitatea U4). Conform datelor OSL, câmpul de dune prezent în Cala en Baster (Unitatea U4, reprezentată de eșantionul CB3) are o vârstă de 72 ± 7 ka, corespunzătoare acestei perioade. Depozite similare au fost descrise în partea de nord a Ibizei (del Valle et al., 2016), precum și în Mallorca (Fornós et al., 2009), în Alicante (Brueckner, 1986); Sardinia (Andreucci et al., 2009; Pascucci et al., 2014) și pe coasta orientală a Mediteranei (Sivan și Porat, 2004; Frenchen et al., 2001; 2014; Mauz și colab., 2013; Nathan si Mauz, 2008). Câmpurile de dune eoliene relevă dovezi ale alternării perioadelor uscate cu activitatea vântului și a migratiei și acumulării de dune eoliene și perioade mai umede cu influx de apă atunci când duna eoliană a coexistat cu paleosolurile și/sau nivelurile lacustre. Umiditatea crescută este pusă în evidență de dezvoltarea rădăcinilor plantelor în nivelurile eoliene superioare (Unitatea U16a). Depozitele interdunice mâloase (interdunare umede) indică faptul că nivelul hidrostatic din zonele de interdune era atât de ridicat încât suprafața umedă ar fi putut capta sedimentele suflate de vânt. De asemenea, după inundații și/sau perioade mai umede, un nivel freatic ridicat a favorizat colonizarea dunelor de către plante, ducând la formarea de orizonturi bioturbate.

Ultima subunitate a aflorimentului (U16b) este compusă din canale nisipoase. Arhitectura unității, cu multe canale migratoare, contacte erozive sau o variabilitate laterală complexă, indică un mediu aluvial. Granulometria depozitelor este asemănătoare cu cea a sedimentelor eoliene (bioclastice) sugerând o remaniere a fostelor dune eoline înainte de cimentare sau într-un stadiu foarte timpuriu de cimentare. Acest lucru ar putea explica conservarea corpurilor eoliene subiacente, cu stratificarea tipică eoliană și natura sedimentului și canalele dintre ele (Bateman et al., 2012; Rodríguez-López et al., 2012; Ventra et al., 2013; Pomar et al 2018). Procesele din aceste medii dinamice acționează rapid. Gibbling (2006) indică faptul că o combinație de fluxuri de apă de magnitudine mare și disponibilitate ridicată a sedimentelor pot genera atât canale incizate cât și umpluturi. Vârstele OSL ale acestei subunități (70 ± 6 ka si 67 ± 5 ka) indică formarea sa la trecerea de la MIS 4 la MIS 3. Pe baza datelor prezentate, concluzionăm că dezvoltarea conului aluvial de coastă în Cala en Baster și Cala Sabina este produsul efectelor combinate ale scăderii nivelului mării care a generat suficient spatiu pe coastă pentru a expune sedimentul marin și a unui context de răcire climatică care a declanșat contraste de temperatură în atmosferă producând episoade cu precipitații intense. Astfel, în perioada de tranziție (MIS 4-3; 80-60 ka), în timpul episoadelor reci, dunele s-au deplasat spre interior, pe coastă acoperind platforma continentală și depozitele aluvionare subiacente, în timp ce în timpul episoadelor relativ mai calde, dar cel mai probabil în timpul tranzițiilor între etapele interstadiale și stadiale, temperatura contrastantă între temperatura suprafeței mării și atmosferă a generat condiții adecvate pentru formarea furtunilor, descărcând precipitații intense. Acest lucru a dus la inundații mari, care au desființat dunele. Potrivit Pomar et al., (2016) acest context de mediu a fost posibil deoarece nivelul mării a rămas întotdeauna sub-70 m în ultima perioadă glaciară.

Mai mult, depozite cu aceleași caracteristici și cronologie au fost deja făcute cunoscute în partea de nord a Ibiza (del Valle et al., 2016) și Mallorca unde Rose și Meng, (1999) și Pomar et al., (2018) au sugerat o fază aluvionară pentru nordul Mallorcăi la trecerea de la MIS 4 la MIS 3.

Conform datelor expuse anterior, considerăm că există o corelație climatică între zonele de coastă vestice și cele estice ale Mediteranei, care coincid atât sedimentologic, cât și cronologic. De asemenea, această corelație coincide cu diverse locuri din lume, Maroc (Rhodes et al., 2006; El Kadiri et al., 2010); Bahamas (Carew și Mylroie, 2008) sau Mexic (Ward, 1997) indicând fluctuații climatice continue și diverse în timpul Cuaternarului.

Concluzii

Succesiunile sedimentare pleistocene caracterizate prin interferența depozitelor eoliene, coluviale, aluviale și marine și a depozitelor pedogenetice intercalate din insulele Pitusice sunt arhive valoroase pentru studierea influenței schimbărilor glacioeustatice asupra evoluției peisajului litoral în bazinul mediteranean. Pe baza cronologiei obținute prin datarea prin luminescență aceste succesiuni au fost corelate cu variațiile temporale ale condițiilor climatice care au condus la schimbări considerabile ale nivelului mării și, prin urmare, al spațiului de acomodare, precum și disponibilității sedimentare susceptibilă pentru mobilizarea eoliană. Astfel, pe baza integrării studiilor sedimentologice și geomorfologice, a analizei faciesurilor și modul de asociere al dunelor eoliene, a depozitelor coluviale și marine, împreună cu obținerea de date cronologice prin datarea prin luminescență stimulată optic a aflorimentelor pleistocene din insulele Pitusice s-a obținut o mai bună înțelegere a modificărilor geomorfologice sub acțiunea modificării nivelului mării și a climei.

Analiza distribuției spațiale a depozitelor și a suprafețelor erozionale a dus la identificarea a cel puțin douăsprezece perioade de acumulare eoliană a sedimentelor marine. Abundența materialului bioclastic pe zona de coastă în perioadele interglaciare, în timp ce nivelul mării a fost ridicat, explică originea sedimentelor. Scăderea nivelului mării și expunerea acestei cantități mari de sedimente marine pe platformă sau în zonele expuse ale șelfului au dus la dezvoltarea de dune. Ca atare, se concluzionează că etapele aride și reci (etape glaciare și subglaciare) sunt reprezentate de dezvoltarea sistemului de dune, sub acțiunea vântului. Construcția sistemului de dune a fost relativ continuă iar morfologia dunelor este strâns legată ca dimensiune și complexitate de spațiul disponibil.

Formarea depozitelor coluviale, precum și formarea solurilor, a episoadelor locale de dezvoltarea a iazurilor sau a inundațiilor de tip arroyo pare a fi legată de condițiile mai umede din timpul etapelor interglaciare. De asemenea, culoarea roșiatică a nivelurilor edafice, care indică un proces de rubefacție, relevă formarea lor în perioadele umede și mai calde, iar formarea paleosolurilor nisipoase relevă faptul că formarea lor a avut loc

în condiții semi-aride. Formarea calcretelor corespunde condițiilor aride, dar încă calde. Acestea indică alternanța unor episoade scurte umede și aride.

Datarea prin luminescență stimulată optic (OSL) a depozitelor pitusice a furnizat vârste în intervalul MIS 22-MIS 3, iar cronologia obținută confirmă asocierea episoadelor de activitate eoliană cu perioadele în care nivelul mării a fost mai scăzut.

Cele mai vechi unități localizate pe coasta de vest a Ibizei sunt depozite care reprezintă câmpuri dunare eoliene și vârstele lor OSL corespund perioadei MIS 22. Sedimentele pleistocenului mijlociu sunt situate pe coasta de nord a Ibizei (de exemplu, Cala Xuclar, del Valle și colab., 2016), coasta de vest și coasta de sud a Ibizei și partea de vest a insulei Espalmador. Aceste secvențe constau în aproximativ nouă faze eoliene interferate de depozite coluviale și pedogenetice, care arată alternanța momentelor calde și umede, cu momentele reci și aride reprezentate de dune. Vârstele OSL obținute au valori care corespund perioadei MIS 18 până la MIS 6.

Cele mai tinere unități, caracterizate printr-un câmp dunar extins compus în principal din dune în formă de U, sunt localizate în Cala en Baster (Formentera), Cala Xuclar (Eivissa), Ses Salines (Eivissa) și Insulele Es Freus. Acest câmp dunar a suferit perioade distructive caracterizate de influxuri de apă care au dus la remanierea nisipului bioclastic devenind parte a mediului aluvial/coluvial. Propunem că această interacțiune s-a datorat perioadelor de tranziție de la perioadele glaciare (MIS 4) la perioadele interglaciare (MIS 3) din timpul Pleistocenului târziu, când contrastele termice au condus la precipitații intense, capabile de a genera inundații, distrugând parțial sau total dunele.

Depozitele de plajă observate în Cala Xuclar (del Valle și colab., 2016), în insula Espalmador și Cala en Baster indică un nivel antic al mării cu unul până la trei metri aproximativ deasupra nivelului actual al mării. Nivelul marin este legat litologic, stratigrafic și faunistic de perioada caldă MIS 5.

Analiza direcției vântului, pe baza depozitelor eoliene indică faptul că în timpul Pleistocenului inferior, direcția predominantă a vântului a fost Sud, Sud-Vest, în timp ce în timpul Pleistocenului mijlociu direcția predominantă a vântului a fost Nord, Nord-Vest. Cu toate acestea, în timpul Pleistocenului târziu, direcția predominantă a vântului a fost schimbată în Nord-Est și Sud-Vest.

Ținând cont de faptul că zonele studiate sunt toate deconectate de mare, acoperirea în totalitate a suprafeței cu sedimente pleistocene în această zonă este excepțională și sugerează continuitatea acestor sedimente nu numai pe suprafața emergentă cât și pe suprafețele submerse. Informațiile cronologice obținute prin metoda OSL indică că de-a lungul fazelor regresive ale nivelului mării, insulele Pitusice și insulele es Freus au fost conectate prin câmpuri extinse de dune, în principal dune în formă de U care s-au suprapus pe măsură ce migrau spre interior, evoluând în unele cazuri în dune cățărătoare sau dune eco, în funcție de morfologia subsolului. În perioadele interglaciare, aceste câmpuri dunare au fost deconectate și a predominat formarea depozitelor coluviale, pedogenetice și marine.

Rezultatele obținute în acest studiu confirmă că depozitele din Pleistocen studiate constituie buni indicatori ai schimbărilor climatice din trecut, iar studiile viitoare vor viza extinderea ariei de studiu asupra întregii coaste mediteraneene.

Bibliografie

Porat, N., Botha, G., 2008. The luminescence chronology of dune development on the Maputa land coastal plain, southeast Africa. Quaternary Science Reviews. 27(9-10), 1024-1046.

Bateman, M.D., Carr, A.S., Dunajko, A.C., Holmes, P.J., Roberts, D.L., McLaren, S.J., Bryant, R.G., Marker, M.E., Murray-Wallace, C.V., 2011. The evolution of coastal barrier systems: a case study of the Middle-Late Pleistocene Wilderness barriers, South Africa. Quaternary Science Review. 30 (1-2), 63-81.

El-Asmar, H.M., 1994. Aeolianite sedimentation along the north western coast of Egypt: Evidence for middle to late Quaternary aridity. Quaternary Science Reviews. 13, 699-708.

Kindler, P., Hearty, P.J., 1995.Pre-Sangamonian eolianites in the Bahama? New evidence from Eleuthera island. Marine Geology. 127, 73-86.

Kindler, P., Hearty, P.J., 1996. Carbonate petrology as an indicator of climate and sealevel changes: new data from Bahamian Quaternary units. Sedimentology. 43 (2), 381-399.

Clemmensen, L.B., Fornós, J.J., Rodríguez-Perea, A., 1997. Morphology and architecture of a Late-Pleistocene cliff-front dune, Mallorca, Western Mediterranean. Terra Nova. 9, 251-254.

Kindler, P., Davaud, E., Strasser, A., 1997. Tyrrhenian coastal deposits from Sardinia (Italy): a petrographic record of high sea level and shifting climate belts during the last interglacial (isotopic substage 5e). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 133, 1-25.

Hearty, P.J., 1998. The geology of Eleuthera Island, Bahamas: a Rosetta Stone of Quaternary stratigraphy and sea-level history. Quaternary Science Review. 17, 333-355.

Kocurek, G., 1998. Response of the wind system to forcing external factors: a stratigraphic view of the Saharan region. In: Alsharhan, A., Glennie, K., Whittle, G., Kendall, C. (Eds.), Quaternary deserts and climate change. Balkema, Rotterdam, 327-337.

Mauz, B., 1999. Late Pleistocene records of littoral processes at the Thyrrhenian Coast (Central Italy). Depositional environments and Luminsecence chronology. Quaternary Science Reviews. 18, 1173-1184.

Rose, J., Meng, X., Watson, C., 1999. Palaeoclimate and palaeoenvironmental responses in the western Mediterranean over the last 140 ka: evidence from Mallorca, Spain; Journal of the Geological Society. 156, 435-448.

Sun, J., Ding, Z., Liu, T., Rokosh, D., Rutler, N., 1999. 580.000-year environmental reconstruction from aeolian deposits at the Mu Us Desert Margin, China, Quaternary Science Reviews. 18,1351-1364.

Blay, C.T., Longman, M.W., 2001. Stratigraphy and sedimentology of Pleistocene and Holocene carbonate eolianites, Kaua'I, Hawai'I U.S.A. Sedimentary Geology. SEPM. 71.

Brooke, B., 2001. The distribution of carbonate eolianite. Earth-Science Reviews. 55, 135-164.

Clemmensen, L.B., Lisborg, T., Fornós, J.J., Bromley, R.G., 2001. Cliff-front aeolian and colluvial deposits, Mallorca, Western Mediterranean: a record of climatic and environmental change during the last glacial period; Bulletin of the Geological Society of Denmark. 48, 217-232.

Del Valle, L., Gómez-Pujol, L., Fornós, J.J., Timar-Gabor, A., Anechitei-Deacu, V., Pomar, F., 2016. Middle to Late Pleistocene dunefields in rocky coast settings at Cala Xuclar (Eivissa, Western Mediterranean): Recognition, architecture and luminescence chronology. Quaternary International. 407, 4–13.

Fornós, J.J., Clemmensen, L.B., Gómez-Pujol, L., Murray, A., 2009. Late Pleistocene carbonate aeolianites on Mallorca, Western Mediterranean: a luminescence chronology. Quaternary Science Reviews. 28, 2697-2709.

Pomar, F., del Valle, L., Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L., 2018. Late Pleistocene dunesourced alluvial fans in coastal settings: Sedimentary facies and related processes (Mallorca, Western Mediterranean). Sedimentary Geology. 367, 48-68.

Roberts, E.M., Stevens, N.J., O'Connor, P.M., Dirks, P.H.G.M., Gottfried, M.D., Clyde, W.C., Armstrong, R.A., Kemp, A.I.S., Hemming, S., 2012. Initiation of the western branch of the East African Rift coeval with the eastern branch. Nature geoscience. 5 (4), 289-294. Doi: 10.1038 / ngeo1432.

Murray, A.S., Clemmensen, L.B., 2000. Luminescence dating of Holocene Aeolian sand movement. Thy Denmark. Quaternary Science Reviews. 20, 751 – 754.

Ballarini, M., Wallinga, J., Murray, A.S., van Heteren, S., Oost, A.P., Bos, A.J.J., van Eijk, C.W.E., 2003. Optical dating of young coastal dunes on a decadal time scale. Quaternary Science Review. 22, 1011-1017.

Andreucci, S., Clemmensen, L.B., Martini, A., Pascucci, V., 2009. Late Pleistocene Coastal Systems of North western Sardinia (Italy): Sandy Beaches, Coastal Dunes and Alluvial Fans. Field Trip 1. 27 th IAS Meeting. Alghero – Italy. 216, 104-116.

Jacobs, Z., Roberts, R., Lachan, T.J., Karkanas, P., Marean, C.W., Roberts, D.L., 2011. Development of the SAR TT-OSL procedure for dating Middle Pleistocene dune and shallow marine deposits along the southern Cap coast of South Africa. Quaternary Geochronology. 6 (5), 491-513.

Yang, L., Long, H., Yi, L., Wang, Y., Gao, L., Shen, J., 2015. Luminescene staing of marine sediments from the Sea of Japan using quartz OSL and polymineral pIRIR signals of fine grains. Quaternary Geochronology. 30 (B), 257-263.

Shen, Z., Mauz, B., Lang, A., Bloemendal, J., Dearing, J., 2007. Optical dating of Holocene lake sediments: elimination of the feldspar component in fine silt quartz samples. Quaternary geochronology. 2, 150-154.

Lewis, C.J., McDonald, E.V., Sancho, C., Peña, J.L., Rhodes, E.J., 2009. Climatic implications of correlated Upper Pleistocene glacial and fluvial deposits on Cinca and

Gàññego Rivers (NE Spain) based on OSL dating and soil stratigraphy. Global and Planetary Change. 67 (3-4), 141-152.

Tecsa, V., Gerasimienko, N., Veres, D., Hambach, U., Lehmkuhl, F., Schulte, P., Timar-Gabor, A., 2020a. Revisiting the chronostratigraphy of Late Pleistocene loess-palaeosol sequences in south-western Ukraine: OSL dating of Kurortne section. Quaternary International. 542, 65-79.

Tecsa, V., Mason, J.A., Johnson,W.C., Miaos, X., Constantin, D., Radu, S., Magdas, D.A., Veres, D., Markovic, S.B., Timar-Gabor, A., 2020b. Latest Pleistocene to Holocene loess in the central great Plains: Optically stimulated luminescence dating and multi-proxy analysis of the Enders loess section (Nebraska, USA). Quaternary Science Reviews. 229, 106-130.

Constantin, D., Mason J., Hambach, U., Veres, D., Panaiotu, C., Zeeden, C., Zhou, L., Markovic, S., Gerasimiento, N., Avram, A., Tesca, V., Sacaciu-Groza, S.M., del Valle, L., Begy, R., Timar-Gabor, A., 2021. Accretional soil formation in northern hemisphere loess regions-evidence from OSL dating of the P/H climatic transition from China, Europe and North America. EGU 21. 2394. Doi: https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-2394.

Adamiec, G., Aitken, M.J., 1998. Dose-rate conversion factors: update; Ancient TL, 16: 37-50.

Murray, A.S., Wintle, A.G., 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. Radiation Measurements. 32, 57-73.

Murray, A.S., Wintle, A.G., 2003. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability. Radiation Measurements. 37, 377-381.

Galvañ, V.A., Ferrer, M.J., 2000. Extracción de marés. Utillaje y procedimiento. In: Graciani, A., Huerta, E., Rabasa, M., Tabales, M. Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Sevilla. P. 335-341.

Pomar, F., 2016. Arquitectura i fàcies deposicionals de la interferencia entre la sedimentació al·luvial, col·luvial i eólica a les Illes Balears durant el Pleistocè Superior: Implicacions Paleoclimàtiques. Tesi doctoral. Universitat de les Illes Balears. 375pp.

Fiol, L.L., Fornós, J.J., Gelabert, B., Guijarro, J.A., 2005. Dust rains in Mallorca (Western Mediterranean): their occurrence and role in some recent geological processes. Catena. 63, 64-84.

Pascucci, V., Sechi, D., Andreucci, S., 2014. Middle Pleistocene to Holocene coastal evolution of NW Sardinia (Mediterranean Sea, Italy). Quaternary International. 328-329, 3-20

Pappalardo, M., Chelli, A., Ciampalini, A., Rellini, I., Biagioni, F., Brückner, H., Fülling, A., Firpo, M., 2013. Evolution of an Upper Pleistocene aeolianite in the northern Mediterranean (Liguria, NW Italy). Italian Journal of Geoscience. 132 (2), 290-303. Doi: 10.3301/ITG.2012.30.

Mauz, B., Hijma, M.P., Amorosi, A., Porat, N., Galili, E., Bloemendal, J., 2013. Aeolian beach ridges and their significance for climate and sea level: Concept and insight from the Levant coast (East Mediterranean). Earth-Science Reviews. 121, 31-54. http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirrev.2013.03.003. Frechen, M., Neber, A., Tsatskin, A., Boenigk, W., Ronen, A., 2004. Chronology of Pleistocene sedimentary cycles in the Carmel coastal plain of Israel. Quaternary International. 121, 41 52.

Sivan, D., Porat, N., 2004. Evidence from luminescence for Late Pleistocene formation of calcareous aeolianite (kurkar) and paleosol (hamra) in the Carmel Coast, Israel. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 211, 95-106.

El-Asmar, H.M., Wood, P., 2000. Quaternary shoreline development: The north western coast of Egypt. Quaternary Science Reviews. 19, 1137-1149.

Rowell, A., Thomas, D., Bailey, R., Stone, A., Garzanti, E., Padoan, M., 2018. Controls on sand ramp formation in southern Namibia. Earth Surface Processes and Landforms. 43, 150-171.

Hearty, P., 2002. Revision of the late Pleistocene stratigraphy of Bermuda. Sedimentary Geology. 153, 1-21.

Anechitei-Deacu, V., Timar-Gabor, A., Constantin, D., Trandafir-Antohi, O., del Valle, L., Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L., Wintle, A.G., 2018. Assessing the maximum limit of SAR-OSL dating using quartz of different grain sizes. Geochronometria. 45 (1) 146-159.

Sàbat, F., Gelabert, B., Rodríguez-Perea, A., Jiménez, J., 2011. Geological structure and evolution of Majorca: implications for the origin of the western Mediterranean; Tectonophysics. 510, 217-238.

Just, J., Hübscher, C., Betzler, C., Lüdmann, T., Reicherter, K., 2011. Erosion of continental margins in the Western Mediterranean due to sea-level stagnancy during the Messinian salinity crisis. Geo-Marine Letters. 31, 51-64.

García de Domingo, A., Díaz de Neira, J.A., Gil-Gil, J., Cabra-Gil, P., 2009. Cartografía y Memoria del Mapa Geológico de España a escala 1:25.000 (Plan MAGNA, 2^a serie) de la Hoja 799 I (Santa Eulària des Riu). Madrid, Servicio de Publicaciones del IGME. 77 p. Col·lecció 2^a Sèrie.

Pomar, F., Del Valle, L., Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L., 2015. Registro sedimentario litoral del Pleistoceno en las Islas Baleares (Mediterráneo occidental): implicaciones paleoclimáticas. VIII Jornadas de Geomorfología Litoral. GeoTemas 15, 65-68.

Tucker, M., 1988. Techniques in Sedimentology. Blackwell Scientific Publications, Oxford, p. 394.

Munsell Color (Firm). Munsell Soil Color Charts: With Genuine Munsell Color Chips. Grand Rapids, MI: Munsell Color, 2010. Available online: <u>https://search.library.wisc.edu/catalog/9910109259802121/cite</u> (accessed on 17 November 2018).

Lapp, T., Kook, M., Murray, A.S., Thomsen, K., Buylaert, J.P., Jain, M., 2015. A new Luminescence Detection and Stimulation Head for the Risø TL/OSL reader. Radiation Measurements. 81, 178-184.

Hansen, V., Murray, A., Buylaert, J-P., Yeo, E-Y., Thomsen, C., 2015. A new irradiated quartz for beta source calibration. Radiation Measurements. 81, 123-127.

Duller, GAT., 2003. Distinguishing quartz and feldspar in single grain luminescence measurements. Radiation Measurements. 37, 161-165.

Vandenberghe D.A.G, De Corte F, Buylaert J-P, Kučera J and Van den haute P., 2008. On the internal radioactivity in quartz. Radiation Measurements. 43,771-775

Prescott, J.R., Hutton, J.T., 1994. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long terms variations. Radiation Measurements. 23 (2-3), 497-500.

Klappa, C.F., 1980. Rhizolits in terrestrial cartonates: classification, recognition, genesis and significance. Sedimentology. 27, 613-629.

Cunningham, A.C., Murray, A.S., Armitage, S., Autzen, M., 2018. High-precision natural dose rate estimates through beta counting. Radiation Measurements. 120, 209-214

Lowe, J.J., Walker, M.J.C., 2015. Reconstructing Quaternary Environments. Routledge. 538 pp.

Pavelic, D., Kovacic, M., Vlahovic, I., Wacha, L., 2011. Pleistocene calcareous aeolianalluvial deposition in a steep relief karstic coastal belt (island of Hvar, eastern Adriatic, Croatia). Sedimentary Geology. 239, 64-79

Andreucci, S., Panzeri, L., Martini, P., Maspero, F., Martini, M., Pascucci, V., 2014. Evolution and architecture of a West Mediterranean Upper Pleistocene to Holocene coastal apron-fan system. Sedimentology. 61, 333-361

Miall, A.D., 1996. The Geology of Fluvial deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology. Springer: 582

Muto, T., Steel, R.J., 2000. The accommodation concept in sequence stratigraphy: some dimensional problems and possible redefinition. Sedimentary Geology, 130: 1-10. Nielsen, K.A., Clemmensen, L.B., Fornós, J.J., 2004. Middle Pleistocene magnetostratigraphy and susceptibility stratigraphy: data from a carbonate aeolian system, Mallorca, Western Mediterranean; Quaternary Science Reviews. 23, 1733-1756.

Miall, A.D., 2010. The Geology of Stratigraphic Sequences. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 2a Edició: 522

Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Prins, M.A., Sanchez-Goñi, M.F., Grimalt, J.O., Weltje, G.L., 2002. Saharan dust transport and high-latitude glacial climatic variability: the Alboran Sea record. Quaternary Research. 58, 318-328

Bardají, T., Goy, J.L., Zazo, C., Hillaire-Marcel, C., Dabrio, C.J., Cabero, A., Ghaleb, B., Silva, P.G., Lario, J., 2009. Sea level and climate changes during OIS 5e in the Western Mediterranean. Geomorphology. 104, 22-37.

Kaspar, F., Spangehl, T., Cubasch, U., 2007. Northern Hemisphere winter storm tracks of the Eemian interglacial and the last glacial inception. Climate of the past. 3, 181-192

Muhs, D.R., Budahn, J., Avila, A., Skipp, G., Freeman, J., Patternson, D., 2010. The role of African dust in the formation of Quaternary soils on Mallorca, Spain and implications for the genesis of Red Mediterranean soils. Quaternary Science Reviews. 29, 2518-2543.

Wagner, S., Eckmeier, E., Skowronek, A., and Günster, N., 2014. Quaternary paleosols and sediments on the Balearic Islands as indicators of climate changes. Catena. 112,112-124.

Flügel, E., 2014. Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application. Springer. Berlin, 976 p.

Claes, H., Soete, J., Van Noten, K., El Desouky, H., Marques-Erthal, M., Vanhaecke, F., Özkul, M., Swennen, R., 2015. Sedimentology, three-dimensional geobody reconstruction and carbon dioxide origin of Pleistocene travertine deposits in the Ballik área (South-west Turkey). Sedimentology. 62 (5), 1408-1445.

Toker, E., Kayseri-Özer, M.S., Özkul, M., Kele, S., 2015. Depositional system and palaeoclimatic interpretations of Middle to Late Pleistocene travertines: Kocabaş, Denizli, south-west Turkey. 62 (5), 1360-1383.

Silva, P.G., Zazo, C., Bardají, T., Baena, J., Lario, J., Rosas, A., Van der Made, J., 2009. Tabla cronostratigràfica del Cuaternario de la Península Ibérica, v.2. AEQUA. Available at:www.aequa.es

Waelbroeck, C., Labeyrie, L., Michel, E., Duplessy, J.C., Mcmanus, J.F., Lambeck, K., Balbon, E., Labracherie, M., 2002. Sea-level and deep water temperature change derived from benthic foraminifera isotopic records; Quaternary Science Reviews. 21, 295-305.

Rohling, E.J., Grant, K., Bolshaw, M., Roberts, A.P., Siddall, M., Hemleben, C., Kucera, M., 2009. Antarctic temperature and global sea level closely coupled over the past five glacial cycles; Nature Geoscience. 2, 500–504.

Zazo, C., 2006. Cambio Climático y nivel del mar: La península Ibérica en el contexto Global. Rev. C & G. 20 (3-4), 115-130.

Ginés, J., Fornós, J.J., Ginés, A., Gràcia, F., Delita-la, C., Taddeucci, A., Tuccimei, P., Vesica, P.L., 2001. Els espeleotemes freàtics de les coves litorals de Mallorca: canvis del nivel de la Mediterrània i paleoclima en el Pleistocè superior. In: Pons, G.X., Guijarro, J.A. (Eds): El canvi climàtic: passat, present i futur. Palma de Mallorca. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears. 9, 33-52.

Shackleton, N.J., Vincent, E., 1978. Oxygen and carbon isotope studies in recent foraminifera from the southwest Indian Ocean. Marine Micropaleontology. 3, 1-13.

Zazo, C., 1999. Interglacial sea levels. Quaternary International. 55, 101-113.

Sidall, M., Rohling, E.J., Almogi-Labin, A., Hemleben, C.H., Melscher, D., Schmelzer, I., Smed, D.A., 2003. Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. Nature. 423, 853-858.

Rabineau, M., Berné, S., Olivet, J.L., Aslanian, D., Guillocheau, F., Joseph, P., 2006. Paleo sea levels reconsidered from direct observation of paleoshoreline position during Glacial Maxima (for the last 500,000 yr). Earth and Planetary Science Letters. 252, 119-137.

Del Valle, L., Pomar, F., Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L., Timar-Gabor, A., 2020. Lower to Middle Pleistocene coastal dune fields formation in the western Mediterranean (Western Eivissa, Balearic archipelago): Chronology and landscape evolution. Aeolian Research. 45, 1-16. Doi: https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100595.

Butzer, K. W., Cuerda, J., 1962. Nuevos yacimientos cuaternarios de las Baleares. Notas y Comunicaciones Instituto Geológico y Minero de España. 67, 25-70.

Nolan, H., 1895. Structure géologique d'ensemble de l'archipel Baléare. Bull. Soc. Geol. France. 3, 76–91.

Nathan, R.P., Mauz, B., 2008. On the dose-rate estimate of carbonate-rich sediments for trapped charge d Sivan, D., Porat, N. 2004. Evidence from luminescence for Late Pleistocene formation of calcareous aeolianite (kurkar) and paleosol (hamra) in the Carmel Coast, Israel. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 211, 95-106.

Huerta, P., Rodríguez-Berriguete, A., Martín-García, R., Martín-Perez, A., La Iglesia Fernández, A., Alonso-Zarza, A.M., 2015. The role of climate and aeolian dust input in calcrete formation in volcanic islands (Lanzarote and Fuerteventura, Spain). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 417, 66-79.

Potenciano, A., Espejo, R., Garzón, G., 1997. Caracterización y ambiente de formación de los paleosuelos rojos en la cuenca terciaria del río Amarguillo (Toledo). Geogaceta. 22, 157-160.

Paskoff, R., Sanlaville, P., 1983. Les côtes de la Tunisie: Variations du Niveau Marin depuis le Tyrrhenien.Editions Maison de l'Orient,Lyon, France. 192 pp.

Bateman, M.D., Bryant, R.G., Foster, I.D.L., Livignstone, I., Parsons, A.J., 2012. On the formation of sand ramps: A case study from Mojave Desert. Geomorphology. 161-162, 93-109.

Rodríguez-López, J.P., Liesa, C.L., Van Dam, J., Lafuente, P., Arlegui, L., Ezquerro, L., De Boer, P.L., 2012. Aeolian construction and alluvial dismantling of a faultbounded intracontinental perspective on Late Pliocene climate change and variability. Sedimentology. 59, 1536-1567.

Ventra, D., Chong, G., De Boer P.L., 2013. Colluvial sedimentation in a hyperarid setting (Atacama Desert, northern Chile): Geomorphic controls and stratigraphic facies variability. Sedimentology. 60, 1257-1290.

Gibbling, M.R., 2006. Width and Thickness of Fluvial Channel Bodies and Valley Fills in the Geological Record: A Literature Compilation and classification. Journal of Sedimentary Research. 76, 731-770.

Rhodes, E.J., Singarayer, J.S., Raynal, J.P., Westaway, K.E., Sbihi-Alaoui, F.Z., 2006. New age estimates for the Palaeolithic assemblages and Pleistocene succession of Casablanca, Morocco. Quaternary Science Reviews. 25, 2569-2585.

El Kadiri, K., Sanz de Galdeano, C., Pedrera, A., Chalouan, A., Galindo-Zaldívar, J., Julià, R., Akil, M., Hlila, R. Ahmamou, M., 2010. Eustatic and tectonic control son Quaternary Ras Leona marine terraces (Strait of Gibraltar, northern Morocco). Quaternary Research. 74 (2), 277-288. DOI: https://doi.org/10.1016/j.yqres.2010.06.008

Carew, J.L., Mylroie, J.E., 2008. Quaternary carbonate eolianites of the Bahamas: Useful analogues for the interpretation of ancient rocks? In: Abegg, F.E., Harris, P.M., Loope, D.B., (Eds.). Modern and ancient carbonate eolianites SEPM Special Publication. 71, 33-45.

Ward, W.C., 1997. Geology of coastal islands, north eastern Yucatan Peninsula. In: Vacher, H.L., Quinn, L. (Eds.). Geology and Hydrogeology of carbonate islands. Developments in Sedimentology, 54. El Servier Science B.V. Publishers, pp. 275-298.

Publicații:

- del valle Villalonga, L., Timar-Gabor, A., Fornos, J., 2019. Geomorphological Processes and Environmental Interpretation at Espalmador islet (Western Mediterranean). *Journal of Marine Science and Engineering*, 7, 5, 144. <u>https://doi.org/10.3390/jmse7050144</u>
- del valle Villalonga, L., Pomar, F., Fornos, J., Gomez-Pujol, L., Timar-Gabor, A., 2020. Lower to middle pleistocene coastal dune fields formation in the western mediterranean (Western Eivissa, Balearic archipelago): Chronology and landscape evolution. *Aeolian research*, 45, 100595. <u>https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S187596372030046X?via</u> <u>%3Dihub</u>
- del Valle, L., Fornós, J.J., Pomar, F., Pons, G.X., Timar-Gabor, A., 2020. Aeolian-Alluvial interactions at Formentera (Balearic islands, western Mediterranean): The late pleistocence evolution of a costal system. *Quaternary International*, 566-567, 271-283. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040618220302433
- 4. del Valle, L., Timar-Gabor, A., Fornós, J.J., Pons, G.X., 2020. Lower to Upper Pleistocene Coastal Deposits from the Ses Salines, Es Freus Islets and Cala Sabina (Pityusic Islands, Western Mediterranean): Chronology and Evolution. *Journal of Coastal Research* 95 (sp1), 448-452. <u>https://bioone.org/journals/journal-of-coastal-research/volume-95/issuesp1/SI95-087.1/Lower-to-Upper-Pleistocene-Coastal-Deposits-from-the-Ses-Salines/10.2112/SI95-087.1.short</u>

Prezentări conferințe 2018-2021.

- 1. Lower to Upper Pleistocene Coastal Deposits from the Ses Salines, Es Freus Islets and Cala Sabina (Pityusic Islands, Western Mediterranean): Chronology and Evolution. *International Coastal Symposium*, Sevilia, Spania 2021. Autori: Laura del Valle; Alida Timar-Gabor; Joan J. Fornós; Guillem X. Pons.
- Lower to Middle Pleistocene coastal deposits from western Eivissa (Western Mediterranean): chronology and evolution. *EGU General Assembly*, Viena, Austria 7-12 aprilie 2019, autori: del Valle, L.; Pomar, F..; Fornós, J.J.; Timar-Gabor, A.
- 3. Conos aluviales alimentados por campos dunares costeros durante el Pleistoceno en la zona d Cala en Baster (Formentera, Mediterráneo occidental). *XV*

REUNIÓN NACIONAL CUATERNARIO Bilbao, Spania. autori: del Valle, L.; Fornós, J.J.; Pomar, F..; Pons, G.X.

- 4. Descripción e interpretación ambiental del Pleistoceno Litoral de Cala en Baster (Formentera, Mediterráneo occidental): procesos geomorfológicos. *X Jornadas de Geomorfología Litoral*, Castelldefels, Spania, 4-6 septembrie 2019. autori: del Valle, L.; Timar-Gabor, A.; Fornós, J.J.; Pons, G.X.
- Late Pleistocene coastal deposits of south-western Formentera Western Mediterranean): Chronology, landscape and climatic variability. 34th IAS International Meeting of Sedimentology, Roma, Italia 10-13 Septembrie, 2019. autori: del Valle, L.; Timar-Gabor, A.; Fornós, J.J.
- Lower to Late Pleistocene coastal deposits of Eivissa (Western Mediterranean): chronology and evolution. *VII Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears*. Mallorca, Eivissa i Menorca, Ibiza, Spania, 2018. autori: del Valle, L.; Pomar, F.; Fornós, J.J.; Gómez-Pujol, Ll., Timar-Gabor, A.
- 7. Jaciments litorals del Quaternari: aproximació a un inventari de les Gimnèsies i de les Pitiüses, *VII Jornades de Medi Ambient de les Illes Baleares*, Ibiza, Spania, 2018. autori: Vicens, D.; del Valle, L.; Pons, G.X.