

G. GIACOBINI

I *boutons en os* o "fibule musteriane".

Cenni di biomeccanica dell'osso ed ipotesi interpretativa

ABSTRACT

A Bone Biomechanical Explanation of the Formation of so-called Boutons en Os or Musterian Fibulae.

This paper critically examines data and hypotheses concerned with so-called *boutons en os*, or mousterian fibulae, whose significance is still debated. The morphology and the geographical and temporal distributions of boutons are presented, together with hypotheses concerned with their interpretation as mousterian implements or as pseudo-implements resulting from trampling that took place in caves frequented by bears.

The biomechanical properties of the bones from which *boutons* are usually derived (peroneal bone and ribs of *Ursus spelaeus*) are examined at the macro- and microscopic level. On the basis of the behaviour of a slender hollow column broken due to bending stress, it seems evident that *bouton* formation can be attributed to trampling by bears. Their origin can thus be justified without postulating human actions.

Giacomo Giacobini, Dep. of Human Anatomy, Corso D'Aze-
glio, 52 - 10126 Torino (Italy).

La possibilità d'impiego dell'osso nell'industria musteriana ha costituito uno dei problemi più discussi, in campo di studi preistorici, nella prima metà di questo secolo. Da quando HENRI-MARTIN (1906-1907) presentò per primo una documentazione accurata a proposito, in seguito alle ricerche svolte a La Quina, molti Autori hanno sostenuto o avvertito questa ipotesi. Oggi le polemiche si sono quasi completamente sopite e, pur riconoscendo l'esistenza di molti tipi di pseudomanufatti in osso, vengono ammessi casi ben documentati di utilizzazione di ossa non lavorate (v. BOUCHUD, 1974) e sono anche descritti, e non messi in dubbio, casi di veri manufatti su osso riferibili al Paleolitico medio ed inferiore (per una revisione sintetica dell'argomento, v. CAMPS-FABRER, 1976; v. anche BORDES, 1979). Negli anni tra il 1920 ed il 1940, quando il problema veniva considerato in modo meno critico, si era giunti persino ad identificare uno «Stadio di Wild-

kirchli» (v. BÄCHLER, 1940), facies industriale musteriana o premusteriana presente in molte caverne del Giura, della Franconia e delle Alpi svizzere ed austriache, che sarebbe stata rappresentata da scarsi strumenti litici e da un ricco corredo di manufatti ossei (*knochenkultur*). Si identificavano punte, perforatori, lame, raschiatoi, grattatoi, lisciatoi, ricavati per lo più da ossa di *Ursus spelaeus*.

In seguito alla critica di KOPY (1943), che rappresenta un classico di metodologia scientifica applicata a ricerche preistoriche, si è però dovuto convenire che la massima parte di questi supposti strumenti è in realtà dovuta a cause del tutto naturali, soprattutto a calpestio da parte di grossi animali frequentatori delle grotte. Fra tutti questi pseudomanufatti, un gruppo ha però resistito alla critica di Kopy, ricorrendo di tanto in tanto nella letteratura preistorica successiva: si tratta dei cosiddetti *boutons en os*, *knochenfibeln* o fibule¹⁾ musteriane. Essi sono, come è noto, frammenti di ossa, di norma peroni o coste, troncati a doppio becco di flauto; secondo molti Autori tali oggetti, descritti per la prima volta da KELLERMANN (1913), dovrebbero essere considerati come manufatti e sarebbero stati utilizzati come punte da inastare oppure, secondo l'interpretazione più frequente, come bottoni o fermagli per indumenti²⁾.

¹⁾ Per evitare confusioni, poiché il termine *fibula* può essere usato nei due significati, si è qui preferito indicare come *bouton* il manufatto, o pseudomanufatto, e come *perone* l'osso da cui più comunemente deriva.

²⁾ In precedenza PIETTE (1906) aveva suggerito la stessa interpretazione (*objets pouvant faire fonction d'agrafe ou de bouton*) per frammenti ossei di varia forma rinvenuti in depositi del Paleolitico superiore francese.

La presente nota ha lo scopo di esporre uno studio relativo ai possibili meccanismi di formazione dei *boutons*, dimostrando che, grazie a caratteristiche morfologiche e meccaniche del perone e delle coste di *Ursus spelaeus*, la particolare frattura che li origina può essere pienamente giustificata in base ad azioni estranee all'intervento umano, come un semplice calpestio.

Morfologia dei *boutons*

La fig. 1 rappresenta schematicamente l'aspetto dei *boutons en os*: si tratta, come già accennato, di frammenti di ossa troncati a becco di flauto ad entrambe le estremità, in modo generalmente molto simmetrico. Nel tratto in cui le due superfici di frattura trapassano l'una nell'altra (o si avvicinano) viene, nei casi più tipici, risparmiato un ponte osseo trasversale (*boutons* a ponte completo o chiuso, fig. 1A); il ponte chiude un canale diretto secondo l'asse maggiore dell'oggetto, che rappresenta o un tratto del primitivo canale midollare (nel caso in cui il *bouton* derivi da un perone) o un'erosione della spugnosa interna (nel caso in cui l'osso di origine sia una costa). In altri casi il ponte può essere interrotto in modo più o meno marcato (*boutons* a ponte incompleto o aperto, fig. 1B). I *boutons* di entrambi i tipi derivano di regola da ossa di *Ursus spelaeus*. La fig. 2 riproduce alcuni *boutons*, sia a ponte completo (fig. 2 E, F) sia a ponte incompleto (fig. 2 A, B, C, D, G) provenienti da depositi würmiani piemontesi.

Nella letteratura si trovano citati anche *pseudoboutons*: si tratta di frammenti di ossa che ricordano i *boutons* ma che hanno forma molto meno regolare, mancano di una tipologia costante, possono essere derivati da ossa di Mammiferi diversi

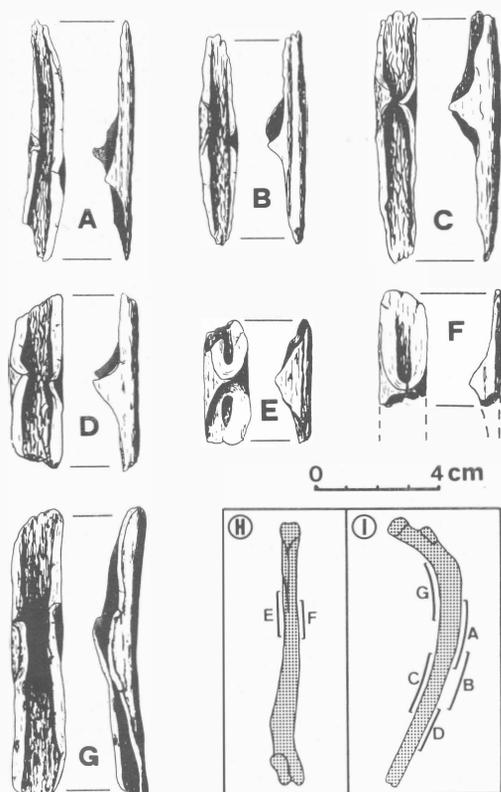


Fig. 2 - Esempi di *boutons* a ponte incompleto (A, B, C, D e G) e completo (E e F), da depositi del Würm antico del Piemonte; A, B e C da Sambughetto Valstrona; D, E e F dal Monte Fenara (D e E dalla *Ciota Ciara*, F, dal Riparo del Belvedere); G dalla Grotta del Bandito di Roaschia. Negli schemi H e I sono indicati i tratti di origine, rispettivamente da un perone e da una costa, dei vari *boutons* raffigurati.

da *U. spelaeus*, ed hanno una distribuzione geografica e temporale meno precisa di quella dei veri *boutons* (v. OCTOBON, 1957).

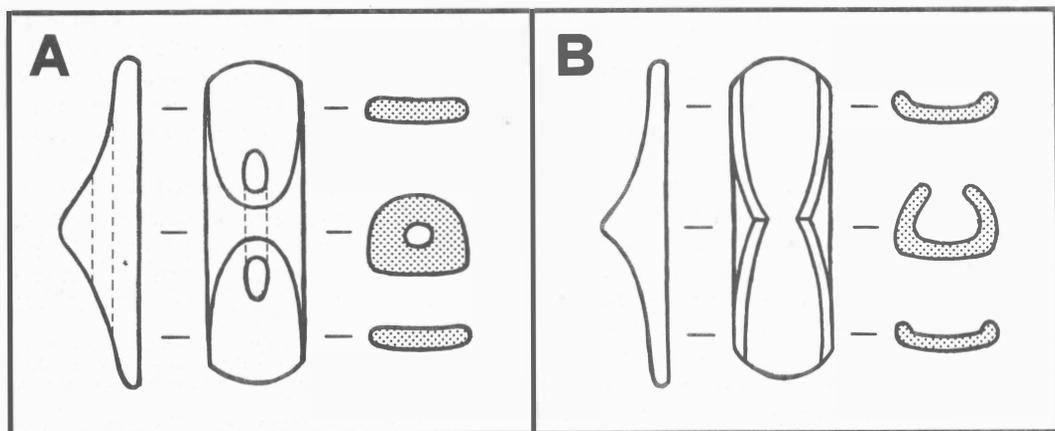


Fig. 1 - Figure schematiche di *boutons* a ponte completo (A) ed incompleto (B); sono raffigurate sezioni (punteggiate) condotte a vari livelli.

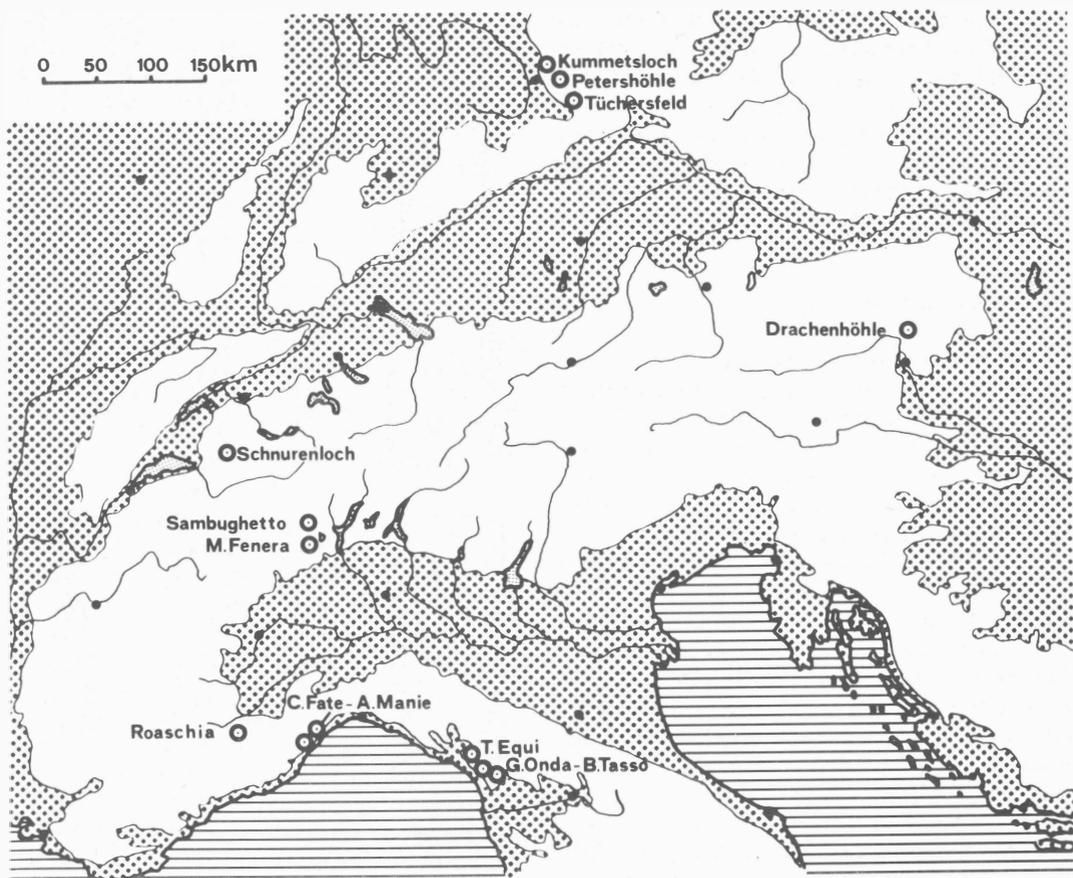


Fig. 3 - Distribuzione geografica dei depositi che hanno fornito **boutons**. I territori con altitudine inferiore a 600 m sono punteggiati.

Distribuzione geografica e temporale dei **boutons**

Una rassegna della distribuzione dei depositi che hanno fornito *boutons* è stata pubblicata da FOZZATI (1974); all'elenco si possono aggiungere le Grotte del Bandito, presso Roaschia (Cuneo), da cui proviene un *bouton* a ponte incompleto, leggermente atipico (fig. 2G). Dalla rassegna risulta che i *boutons* sono stati rinvenuti solo in depositi in caverna situati nell'area alpina o circumalpina, in Svizzera, Austria, Germania ed Italia. In totale, veri *boutons* sono stati segnalati in almeno tredici località (v. cartina in fig. 3); di queste, otto sono in Italia (Monte Fenera, presso Borgosesia; Sambughetto Valstrona, presso Omegna; Roaschia, presso Cuneo; Caverna delle Fate ed Arma delle Manie, presso Finale Ligure; Tecchia degli Equi, Grotta all'Onda e Buca del Tasso, presso Massa Carrara), una in Svizzera (Schnurenloch, nell'Oberland Bernese), una in Austria

(Drachenhöhle, presso Graz) e tre in Germania (Kummetsloch, Petershöhle e Tüchersfeld, presso Norimberga)³⁾.

Non si può però escludere che *boutons* siano stati rinvenuti in altri depositi, ma che non siano stati segnalati in letteratura, forse anche perché il problema si riteneva superato a seguito del lavoro di KOPY (1943). In effetti, le pubblicazioni relative a ricerche in alcune cavità contenenti grandi de-

³⁾ I riferimenti bibliografici, per quanto riguarda la segnalazione dei reperti sopra citati, sono i seguenti:

Monte Fenera: FEDELE (1974); GIACOBINI (1976); Sambughetto Valstrona: MAVIGLIA (1952); Caverna delle Fate: BERNABOBREA (1947); Arma delle Manie: FOZZATI (1974); Tecchia degli Equi: DE STEFANI (1917), BRANCHINI (1928); Grotta all'Onda: GRAZIOSI (1944); Buca del Tasso: PUCCIONI (1922); Schnurenloch: ANDRIST et al. (1964); Drachenhöhle: ABEL e KYRLE (1931); Kummetsloch: KELLERMANN (1913); Petershöhle: HÖRMANN (1923, 1933); Tüchersfeld: KELLERMANN (1913). Il reperto di Roaschia (fig. 2G), sinora inedito, è stato individuato in una raccolta di resti ossei di *Ursus spelaeus* conservata presso l'Istituto di Anatomia Umana Normale di Torino.

Per osservazioni a carattere più generale sui reperti di cui sopra, v. anche: VAUFREY (1928), KOPY (1943), MAVIGLIA (1952), BATTAGLIA (1953), FEDELE (1966), FOZZATI (1974), JÉQUIER (1975), GIACOBINI (in stampa).

positi «ad orso» non accennano all'esistenza di *boutons*. Ciò vale, per esempio, per la *Grotte des Ours* a Châteaubourg (COMBIER, 1956 e 1967; v. anche BORDES, 1958), per la *Grotte des Furtins* a Berzé-la-Ville (LEROI-GOURHAN, 1950); per la *Grotte de Prélétang* a Presles (LEQUATRE e LEROI-GOURHAN, 1966); altre grotte alpine o circumalpine, con depositi di minore estensione, potrebbero essere citate per lo stesso motivo (v. COMBIER, 1956; JÉQUIER, 1975). Bisogna però notare che, almeno nel caso di Prélétang, non è stato effettivamente rinvenuto alcun *bouton en os* (P. Lequatre, comunicazione personale); lo stesso si può dire per la Grotta Pocala, nel Carso triestino, nonostante Raffaello Battaglia vi abbia ricercato attivamente ogni possibile testimonianza di industria musteriana su osso (BATTAGLIA, 1953).

Anche la distribuzione temporale dei *boutons* è piuttosto limitata: veri *boutons en os* sono stati rinvenuti solo in depositi musteriani (o, comunque, in livelli corrispondenti cronologicamente al Musteriano); da orizzonti di antichità differente provengono, eventualmente, *pseudo-boutons*. Bisogna inoltre precisare che tutte le tredici località sopra citate corrispondono o a vere grotte «ad orso» o a depositi in cui i resti di *Ursus spelaeus* erano ben rappresentati.

Ipotesi sul significato dei *boutons*

L'interpretazione dei *boutons* è molto controversa. Prima della pubblicazione del lavoro di KOPY (1943) essi venivano compresi nel corredo di manufatti ossei dello «Stadio di Wildkirchli»; benché Kopy si sia decisamente pronunciato contro l'intenzionalità della frattura che è alla loro origine, pare che, contrariamente al caso di altri pseudomanufatti, la sua critica non sia stata del tutto convincente. Nella letteratura posteriore al 1943, infatti, si trovano spesso citati *boutons*, non più riferiti, ovviamente, ad uno «Stadio di Wildkirchli», ma considerati testimonianze di industria musteriana o, comunque, messi più o meno direttamente in relazione ad un'attività umana (v., ad esempio, GRAZIOSI, 1944; MAVIGLIA, 1952; BATTAGLIA, 1953; BAROCELLI, 1960; ANDRIST et al., 1964; FEDELE, 1966; FEDELE, 1974; FOZZATI, 1974).

A favore della loro natura di manufatti stanno soprattutto la tipologia piuttosto costante, la forma di solito simmetrica e la concentrazione geografica e temporale (che li ha fatti riferire in passato ad un Musteriano «alpino»). È poi da rilevare che, mentre in alcuni depositi di grotte «ad orso» i

boutons sono rappresentati da parecchi esemplari, in altre essi mancano del tutto (o, comunque, non ne sono stati segnalati); questo fatto è stato interpretato come indice di una differenza culturale (BÄCHLER, 1940).

Contro l'interpretazione culturale stanno invece, oltre alla generale convinzione che nel Paleolitico medio l'osso sia stato estremamente poco utilizzato, la possibilità che una frattura di quel tipo possa avvenire per motivi estranei all'intervento umano, l'assenza di tracce di strumenti litici ed il fatto che *boutons* siano stati rinvenuti anche in depositi in cui essi rappresenterebbero le uniche supposte tracce di attività umana (come a Sambughetto Valstrona e a Roaschia). Inoltre, MÜHLHOFER (1937) ha riferito di aver osservato frammenti a forma di *bouton* tra i resti ossei di piccoli vertebrati contenuti in boli di rapaci; questa osservazione ha suggerito che i *boutons* possano essersi formati per rottura di ossa tra le fauci di carnivori, soprattutto delle iene (v. JÉQUIER, 1975).

Accettando per ipotesi la loro natura di manufatti, veri *boutons* dovrebbero essere considerati solo quelli a ponte completo (e questo concorda con la definizione originaria di KELLERMANN, 1913); in quelli a ponte incompleto una possibile applicazione pratica è più difficile da immaginare. I *boutons* a ponte completo derivano, salvo casi eccezionali, da peroni di *Ursus spelaeus* (mentre quelli a ponte incompleto derivano di solito da coste); in questa nota, quindi, sarà data più importanza allo studio dei possibili meccanismi di formazione dei *boutons* dai peroni.

Il perone di *Ursus spelaeus*

Il perone di *Ursus spelaeus* (e, più in generale, degli Ursidi) è relativamente simile a quello umano, ma più corto e più robusto.

La fig. 4 (A e B) rappresenta un perone destro di individuo adulto (probabilmente maschio); la diafisi, nei due terzi distali, è prismatica triangolare (con tre facce: mediale, laterale e posteriore, separate da creste). Il tratto di passaggio al terzo prossimale della diafisi, che è cilindroide, è, per via dell'esaurimento delle creste, un punto di minore resistenza; ne deriva che, sottoponendo l'osso ad una sollecitazione eccessiva, esso può facilmente si spezza in quel punto. Questo poteva avvenire teoricamente in vivo, ma soprattutto *post mortem*, per calpestio di parti coporee in decomposizione o dell'osso isolato dal resto dello scheletro. Questa eventualità si è verificata comunemente nei depositi delle grotte «ad orso»: in effetti

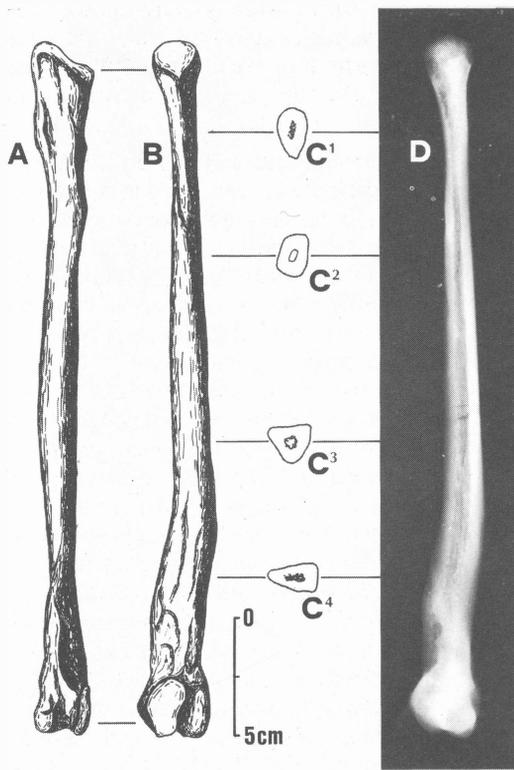


Fig. 4 - Perone destro di *Ursus spelaeus* adulto (dalla Grotta del Bandito, Roaschia), visto dall'avanti (A) e medialmente (B). Sono raffigurate sezioni eseguite a vari livelli (C); la radiografia (D) è in proiezione medio-laterale.

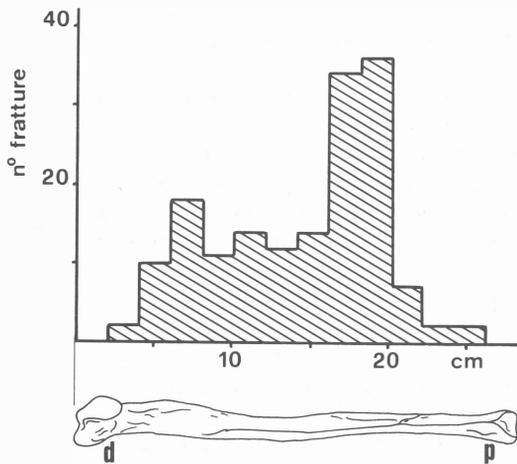


Fig. 5 - Effetto del calpestio sul perone di *Ursus spelaeus*; l'istogramma indica le variazioni di frequenza di rotture lungo il maggior asse di un perone di dimensioni medie (lunghezza = cm 28), suddiviso convenzionalmente in tratti di 2 cm. Le osservazioni sono state effettuate su 107 frammenti di perone (totale di 160 fratture), di varia provenienza; d = epifisi distale, p = epifisi prossimale.

i peroni solo in casi eccezionali si rinvergono interi; di regola sono frammentati, quasi sempre almeno nel punto in questione. L'istogramma della fig. 5 riassume le osservazioni effettuate su 107 frammenti di perone di *U. spelaeus* di varia provenienza; la frequenza di rotture presenta un netto picco nel punto di cui sopra. Come si dirà in seguito, la doppia frattura alla base della formazione dei *boutons* si è appunto normalmente verificata in questo punto di minore resistenza del perone (v. fig. 2H).

Il canale midollare del perone, come si deduce dalle sezioni a vari livelli (fig. 4C) e dalla radiografia (fig. 4D) è molto ristretto rispetto al diametro esterno dell'osso e si estende per buona parte della lunghezza della diafisi.

Le coste di *Ursus spelaeus*

Il rinvenimento di coste complete nei depositi delle grotte «ad orso» non è comune, trattandosi di ossa sottili e di lunghezza notevole. La fig. 6 rappresenta una costa destra (probabilmente la nona o la decima), quasi integra, di *U. spelaeus* adulto.

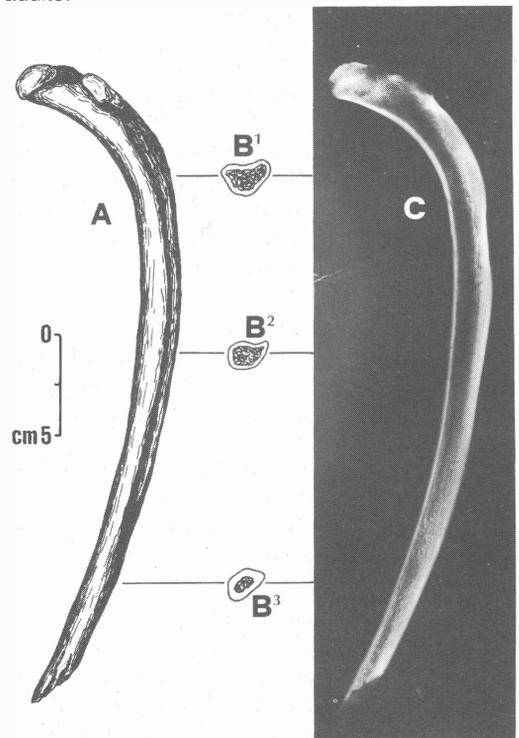


Fig. 6 - Costa destra (nona o decima) di *Ursus spelaeus* adulto (dalla Grotta del Bandito, Roaschia), vista dalla faccia posteriore (A). Sono indicate sezioni condotte a vari livelli (B); la radiografia (C) è in proiezione postero-anteriore.

Le coste sono nastri ossei incurvati, con una faccia interna (postero-interna) concava ad una esterna (antero-esterna) convessa, e con due estremità, una vertebrale ed una sternale. La presenza di un angolo costale, in cui la curvatura è più accentuata, permette di distinguere nelle coste due tratti, uno dorsale ed uno ventrale (rispetto all'angolo stesso). Il tratto dorsale è più breve e porta le superfici articolari vertebrali. Nella parte ventrale, la forma si modifica procedendo verso l'estremità sternale: all'inizio si nota sulla faccia postero-interna un solco (solco costale) che gradualmente si esaurisce, fino a che la sezione dell'osso diventa ovalare; è in questo tratto che comunemente le coste si rinvengono spezzate ed è da questo tratto che di regola originano i *boutons* (a ponte incompleto) (v. fig. 21).

Come si vede nelle sezioni condotte a vari livelli (fig. 6B) e nella radiografia (fig. 6C), le coste sono costituite internamente da tessuto osseo spugnoso. Questa parte spugnosa si è di solito conservata nei frammenti più lunghi di costa, mentre in quelli brevi (e nei *boutons*) è spesso scomparsa.

Struttura dell'osso in *Ursus spelaeus*

Il perone degli Ursidi, come quello degli altri Mammiferi che lo posseggono, è un tipico osso lungo, composto cioè da una diafisi che contiene il canale midollare e da due estremità (epifisi). La diafisi è formata quasi esclusivamente da osso compatto (v. sezioni e radiografia in fig. 4), di notevole spessore; le epifisi sono formate da osso spugnoso rivestito da uno strato sottile di osso compatto.

Le coste invece non presentano canale midollare e quindi, nonostante la forma allungata, non possono essere classificate come vere ossa lunghe; sono costituite da una parte interna di osso spugnoso e da uno spesso strato periferico di osso compatto (v. sezioni e radiografia in fig. 6).

Poiché i *boutons* derivano da diafisi di perone (in cui la spugnosa è praticamente assente) o da tratti ventrali si coste (in cui la compatta è spessa e la spugnosa, come già detto, viene per lo più erosa), verranno qui considerate esclusivamente le caratteristiche del tessuto osseo compatto.

Le variazioni strutturali del tessuto osseo all'interno della classe dei Mammiferi sono state descritte dettagliatamente da AMPRINO e GODINA (1947). I Mammiferi di piccola taglia tendono a mantenere per tutta la vita un osso compatto di tipo primario⁴). La sovrapposizione di un ordina-

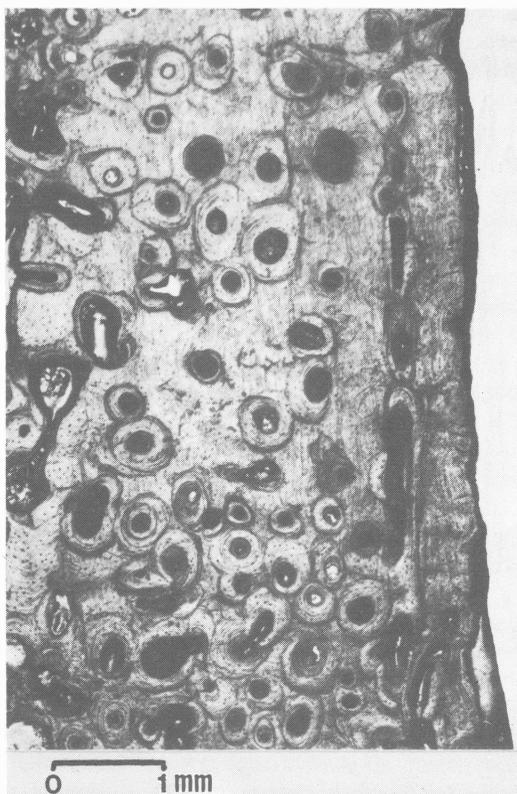


Fig. 7 - Sezione trasversale di diafisi di perone di *Ursus spelaeus* (individuo giovane, al termine dell'accrescimento corporeo), esaminata in luce riflessa. Presso la superficie dell'osso (a destra nella figura) è visibile una zona di osso primario, con lamelle circonfenziali ed osteoni primari; in profondità i sistemi lamellari sono largamente interrotti da osso secondario (osteoni secondari e breccia). I sistemi lamellari sono poco evidenti a causa dello stato di conservazione del materiale esaminato.

⁴) L'osso compatto dei Mammiferi presenta una struttura essenzialmente di tipo lamellare. Ogni lamella contiene i tre costituenti del tessuto osseo: cellule, fibre collagene e sostanza fondamentale mineralizzata. Le lamelle possono essere ordinate secondo due modalità: lamelle circonfenziali ed osteoni. Le lamelle circonfenziali sono parallele alla superficie dell'osso e disposte concentricamente al canale midollare (nelle ossa lunghe). Gli osteoni sono sistemi cilindroidi del diametro di circa 200 mm e della lunghezza di 2-8 mm, formati da 5-20 lamelle ordinate concentricamente ad un canale centrale (di Havers) in cui decorrono piccoli vasi e nervi.

In individui giovani l'osso è costituito da sistemi circonfenziali e da osteoni cosiddetti primari, ordinati in fasci piuttosto regolari stratificati concentricamente al cavo midollare; si parla di **osso primario**. Durante la vita dell'animale può avvenire, a seconda della specie, una graduale e più o meno ampia sostituzione da parte di osteoni secondari, non più disposti in strati concentrici rispetto al cavo midollare, ma con direzione e dimensioni meno costanti; ogni osteone secondario è limitato esternamente da uno strato privo di fibre collagene (linea cementante). Poiché il tessuto osseo continuamente rimaneggia la sua struttura durante la vita dell'animale, i sistemi lamellari vengono via via erosi e sostituiti da altri neofornati; tra gli osteoni di nuova comparsa (secondari) permangono residui di precedenti generazioni di sistemi (a lamelle circonfenziali o osteonici), che costituiscono la breccia; osteoni secondari e breccia rappresentano l'**osso secondario**. In Mammiferi in cui avviene un attivo rimaneggiamento osseo si distinguono quindi, in una sezione di diafisi, tre strati: due di sistemi circonfenziali (interno ed esterno) a cui ne è interposto uno ad osteoni e breccia.

mento di tipo ad osteoni e breccia (che porta ad un osso secondario) avviene in modo graduale nel corso della vita di molte specie di media e grossa taglia (a vita lunga).

In alcune specie, nell'uomo in particolare, la sostituzione è rapida; più comunemente, però, in particolare tra gli Ungulati, si mantiene per più tempo (in certe specie per tutta la vita) ed in grado maggiore una struttura di tipo primario. Nei grossi Carnivori (e soprattutto negli Ursidi) la struttura dell'osso compatto è molto simile a quella dell'uomo, con ampio rimaneggiamento osteonico; mentre nei soggetti giovani gli osteoni secondari sono grandi e di forma irregolare, negli adulti ed ancor più negli anziani divengono più piccoli, più numerosi, più regolari (come forma e come ordinamento delle lamelle) e sono interposti a frammenti di breccia più minuti.

Queste caratteristiche strutturali dell'osso descritte per gli Ursidi attuali (AMPRINO e GODINA, 1947) sono state controllate in *Ursus spelaeus*. Sezioni trasversali di perone e di altre ossa sono state preparate secondo le tecniche comuni di studio dell'osso macerato ed esaminate in luce trasmessa e riflessa (fig. 7).

Nelle ossa di individui giovani si possono notare ancora ampie zone di osso primario, con lamelle circolari abbondanti e serie di osteoni primari, disomogenei come diametro e forma. Negli individui adulti il rimaneggiamento osteonico è molto marcato, mancano osteoni primari e le lamelle circolari sono ridotte; gli osteoni secondari sono piccoli, più omogenei, addensati, e la breccia è a frammenti minuti. Negli individui anziani, poi, si notano quadri di prevalente riassorbimento con ampliamento del canale midollare e con ampie cavità di erosione nella compatta (fenomeni di osteoporosi senile).

In conclusione, quindi, la struttura dell'osso compatto in *Ursus spelaeus* può essere paragonata con buona approssimazione a quella dell'uomo. Le ossa di altri Mammiferi di media e grossa mole i cui resti si possono ritrovare in depositi preistorici del Pleistocene superiore (nell'area alpina, soprattutto Bovidi, Cervidi, Suidi ed Equidi) presentano una struttura diversa, a scarso rimaneggiamento osteonico, più fascicolata e lamellare. A queste differenze strutturali corrispondono differenze nelle proprietà meccaniche.

Cenni sulle proprietà meccaniche dell'osso

Dal punto di vista delle proprietà meccaniche il perone può essere paragonato, come tutte le ossa lunghe, ad una colonna cava (la diafisi con il

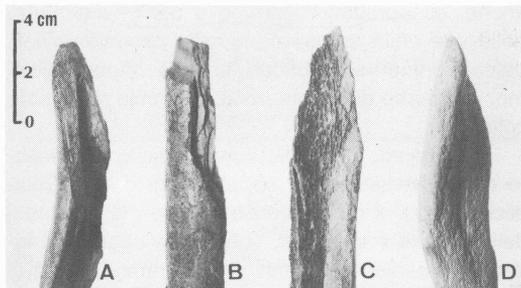


Fig. 8 - Aspetti diversi di superfici di frattura di grossi frammenti diafisari (da depositi würmiani piemontesi). **A** = frattura a superfici lisce (pianeggianti e incurvate), osso a prevalente struttura secondaria (aspetto di osso fratturato allo stato fresco). **B** = superfici di frattura con estesi piani di clivaggio, disposti secondo la direzione di lamelle circolari; osso a prevalente struttura di tipo primario (osso fratturato probabilmente allo stato di iniziale macerazione). **C** = superfici di frattura con andamento irregolare; le linee di frattura corrispondono per lo più a completamento in profondità di *weathering cracks* (aspetto di osso fratturato allo stato di avanzata macerazione). **D** = superfici di frattura (e superfici naturali) levigate per azioni prolungate di calpestio.

canale midollare) con una base ed un capitello (le epifisi distale e prossimale); come è noto, la presenza di una cavità centrale riduce di poco la resistenza di una struttura (nelle ossa, in genere di circa il 12%). Nelle ossa lunghe le sollecitazioni sono normalmente in presso- flessione; nel complesso tibio-peroneale (sottoposto a carico assiale) in ruolo del perone sembra essere essenzialmente quello di limitare la flessione della tibia, che tende ad incurvarsi. Il perone viene quindi soggetto a carico leggermente eccentrico (WAGNER et al., 1975), per cui allo sforzo in pressione si somma una notevole componente flessoria. Poiché il perone è una colonna molto snella (in confronto alle altre ossa lunghe), per resistere a queste sollecitazioni deve avere una parete notevolmente spessa; nel perone, infatti, il canale midollare è molto sottile (v. fig. 4).

Nelle coste, come già detto, l'architettura è diversa da quella delle vere ossa lunghe per l'assenza del canale midollare. Le trabecole di spugnosa che occupano la parte interna dell'osso sono orientate in modo da contribuire alla resistenza alle sollecitazioni a cui sono sottoposte le coste durante i movimenti respiratori, e che sono prevalentemente flessorie. Poiché però lo strato superficiale di compatta è, nei Carnivori più che nell'uomo, piuttosto spesso e la forma dell'osso è allungata, le proprietà meccaniche delle coste possono, almeno in parte e per ciò che qui interessa, essere paragonate a quelle di un osso lungo (soprattutto di uno sottile come il perone).

La resistenza di un qualsiasi osso alle sollecitazioni non dipende però solo dalla sua forma, ma

anche, e soprattutto, dal tipo e dall'orientamento delle sue unità strutturali: lamelle circolari, osteoni primari e secondari, breccia: importantissimo, all'interno di queste unità, è il ruolo delle fibre collagene.

Per questo, le proprietà meccaniche del tessuto osseo (resistenza a sollecitazioni diverse, elasticità, ecc.), il cui interesse pratico per lo studio delle fratture è evidente, sono state oggetto di indagini accurate negli ultimi cinquant'anni; le nozioni acquisite sono state raccolte in alcune monografie, tra cui, fondamentali, quelle di EVANS (1957, 1973)⁵).

Queste nozioni generali, valide per le fratture ossee *in vivo* (o, comunque, su ossa fresche) possono essere applicate, con qualche riserva, allo studio del comportamento delle ossa in seguito a calpestio. Le riserve dipendono dal fatto che le fratture da calpestio nei depositi delle grotte «ad orso» sono evidentemente avvenute *post mortem*, nella massima parte dei casi su ossa, o su serie di ossa ancora in connessione, isolate dal resto del cadavere e disperse sul piano di calpestio. Si tratta quindi di un materiale molto eterogeneo, in relazione a fattori che sono invece costanti (o che non entrano in gioco) nell'osso fresco.

Questi fattori, che influiscono in maggiore o minore misura sulle proprietà meccaniche dell'osso e che ne alterano l'anisotropia, sono di vario tipo; l'importanza di alcuni, come la tempe-

ratura ed il grado di idratazione, può essere valutata quantitativamente; l'effetto di altri dipende più strettamente dal tempo intercorso tra la morte dell'animale e la rottura dell'osso: grado di macerazione (con perdita più o meno forte di sostanza organica, fibre collagene compresse), fenomeni putrefattivi, apporto o perdita di sali minerali (a seconda delle caratteristiche del terreno).

In effetti, esaminando un campionario di frammenti ossei provenienti dal deposito di una qualsiasi grotta «ad orso» (e quindi riferibili per circa il 90% ad *Ursus spelaeus*) subito si nota una certa eterogeneità nell'aspetto delle superfici di frattura (v. anche JÉQUIER, 1975). Solo una piccola parte dei frammenti presenta superfici lisce (piane o incurvate) (fig. 8 A), come di regola in ossa fratturate allo stato fresco (o, per lo meno, in fase solo iniziale di macerazione).

La massima parte dei frammenti presenta invece superfici più irregolari, indirizzate in alcuni casi secondo piani di clivaggio già presenti nell'osso (per esempio, lamelle circolari) (fig. 8 B) o, più spesso, secondo serie di microfessurazioni per lo più longitudinali, comparse durante la macerazione e poi ampliate per l'azione di fattori chimico-fisici (*weathering cracks*) (fig. 8 C); in questi casi si tratta di ossa calpestate e fratturate qualche tempo dopo la morte dell'animale, in fase più o meno avanzata di macerazione o addirittura allo stato subfossile. Alcuni frammenti, poi, appaiono levigati su parti variamente estese delle loro superfici naturali o di frattura, come risultato ultimo dei fenomeni di calpestio (fig. 8 D).

⁵ A causa della natura e della disposizione dei suoi costituenti, l'osso non è un materiale isotropo: un determinato campione di osso non presenta cioè le stesse proprietà fisiche in ogni direzione.

Questa anisotropia del tessuto varia in rapporto a diversi fattori, tra cui, soprattutto, la specie e l'età dell'animale, l'osso ed il tratto di osso esaminato; il grado di anisotropia dipende, in ultima analisi, essenzialmente dal numero e dall'ordinamento delle fibre collagene nei sistemi lamellari. Poiché le fibre collagene sono in gran parte responsabili delle caratteristiche di resistenza del tessuto osseo, le zone che ne sono prive (linee cementanti alla superficie degli osteoni) corrispondono a zone di minore resistenza. Un eventuale piano di frattura tende ad indirizzarsi secondo queste superfici (EVANS, 1976) o ad insinuarsi tra una lamella e l'altra nei sistemi osteonici o nei sistemi circolari (SIMKIN e ROBIN, 1974). Ne deriva che l'aspetto delle superfici di frattura varia a seconda che si tratti di osso primario o di osso secondario.

L'osso primario, a sistemi circolari ed osteoni primari, ha un'architettura più lamellare e fascicolata; è più elastico nel senso della flessione (la laminazione di un blocco ne aumenta la flessibilità; SMITH e WALMSLEY, 1959). Un piano di frattura in un osso di questo tipo ha un andamento vario, a volte obliquo ma sovente con tendenza a seguire ampi piani di clivaggio; spesso si staccano anche squame ossee più o meno grandi, corrispondenti a sistemi di lamelle circolari (OLIVO, MAJ e TOIARI, 1937).

L'osso secondario, invece, grazie alle minori e più costanti dimensioni delle sue unità strutturali (osteoni secondari e breccia), è un sistema più omogeneo (meno anisotropo). Un eventuale piano di frattura presenta un andamento (trasversale, longitudinale, obliquo, spirale) che è in linea generale in rapporto, in modo più evidente che nell'osso primario, più al di trauma che ha causato la rottura che non a piani di clivaggio preesistenti o latenti. Nelle fratture da flessione, che sono quelle che qui più interessano (in relazione a fenomeni di calpestio di ossa isolate) spesso il piano di frattura è obliquo e può determinare una configurazione a becco di flauto dei monconi. Le superfici di frattura sono normalmente pianeggianti o incurvate, ma senza tracce evidenti di piani di clivaggio.

Ipotesi sul meccanismo di formazione dei boutons

Da quando detto sopra risulta che ossa abbandonate su di un piano e sottoposte a calpestio si possono spezzare secondo varie modalità. Il piano di frattura segue infatti un andamento che dipende da vari fattori, tra cui la direzione della forza agente, le caratteristiche macro- e microscopiche dell'osso (e quindi anche la specie e l'età dell'animale da cui esso proviene), la maggiore o minore perdita di sostanza organica subita dall'osso stesso e l'azione di fattori ambientali vari. Nel caso della maggior parte delle ossa lunghe, in cui la parete della diafisi è sottile rispetto al diametro del canale midollare, di solito si verifica uno schiacciamento con frattura diafisaria a più frammenti di forma varia (es. fig. 8 A, B, C); se l'azione di calpestio è continuata, le schegge si frantumano ulteriormente e vanno incontro ad

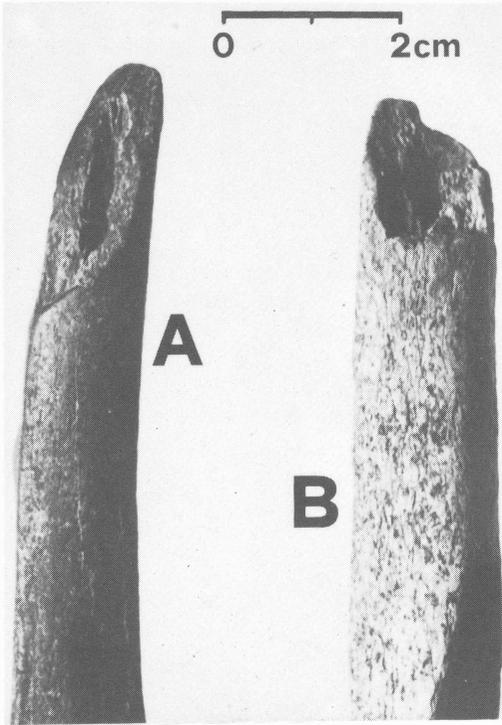


Fig. 9 - Fratture da calpestio su peroni di *Ursus spelaeus* (dalla *Ciota Ciara*, Monte Fenera). A causa del forte spessore della parete diafisaria e del piccolo diametro del canale midollare, non vi è stato schiacciamento ma frattura a becco di flauto. L'aspetto delle superfici di frattura indica che la stessa è avvenuta su ossa allo stato fresco (A) o di iniziale macerazione (B).

usura delle superfici (in alcuni depositi, un'azione chimica può contribuire a questa usura), fino ad una vera e propria levigatura (fig. 8 D), con formazione talvolta di frammenti ossei a forma caratteristica, tale da poter suggerire un intervento umano (psudomanufatti).

Nel caso particolare del perone il comportamento è diverso: per via dello scarso diametro del canale midollare e del relativamente forte spessore della parete diafisaria, difficilmente si ha schiacciamento: in generale l'osso si spezza in due o più frammenti, secondo piani di frattura obliqui (a becco di flauto) (fig. 9). In condizioni particolari si può avere una frattura a tre frammenti, di cui quello centrale presenta una forma a doppio becco di flauto, che è appunto quella dei **boutons**; lo stesso può avvenire nel caso delle coste. La fig. 10 schematizza una situazione di questo tipo: il comportamento è quello di una qualsiasi trave posta su due appoggi semplici e sottoposta ad un carico concentrato in mezzzeria. Sotto la pressione la trave (o l'osso) tende ad incurvarsi; le deformazioni plastiche sono maggiori presso il

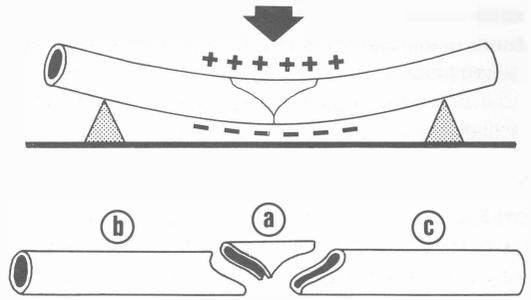


Fig. 10 - Schema del comportamento di una trave cava posta su due appoggi semplici e sottoposta a carico concentrato in mezzzeria. Le deformazioni plastiche sono maggiori presso il punto di applicazione del carico (freccia); i simboli + e - indicano sollecitazioni, rispettivamente, in compressione ed in tensione degli elementi strutturali nella zona plasticizzata. L'eventuale frattura è a tre frammenti, di cui il centrale (a) è a forma di *bouton*. I frammenti laterali (b, c) presentano superfici di frattura analoghe a quelle visibili in fig. 9.

punto di applicazione del carico, dove quindi la curvatura è massima; in questa zona plasticizzata gli elementi strutturali posti nella concavità della curva (dove si applica il carico) sono sollecitati a pressione, con conseguente accorciamento; gli elementi posti nella convessità sono invece sollecitati da sforzo in tensione, con conseguente allungamento. Se il carico supera la capacità di resistenza del materiale si verifica la frattura, che inizia sempre dal lato della convessità (ove vi è tensione) e si irradia verso il lato opposto secondo due piani obliqui e divergenti; si isola così un terzo frammento che, se la trave è cava, ha la forma dei *boutons*. Questo accade di regola, in modo così simmetrico, in un materiale omogeneo. Una semplice verifica si può fare flettendo fino a rottura un tubo in materiale artificiale sufficientemente rigido e poco anisotropo (come per esempio il cannello in plastica trasparente di certe penne biro): quasi sempre si ottiene la frattura a tre frammenti sopra descritta ed il frammento centrale è simile ad un *bouton a ponte incompleto* (fig. 11);

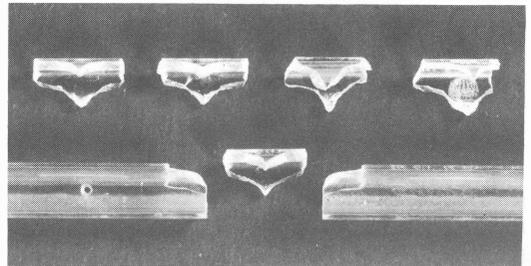


Fig. 11 - Frattura a tre frammenti riprodotta su tubo in materiale artificiale scarsamente anisotropo. La frattura si verifica secondo lo schema indicato in fig. 10; si ottengono frammenti a forma di *bouton*; il ponte risulta incompleto a causa del diametro interno relativamente grande del tubo.

se la cavità interna fosse di diametro minore (a parità di diametro esterno), si otterrebbe un ponte completo.

Il rapporto tra diametro interno ed esterno della diafisi di un osso lungo è quindi, come già prima notato, un fattore molto importante nel determinare la forma dei frammenti da frattura. Frammenti a forma di *bouton* si possono ottenere solo da ossa molto allungate e sottili e con pareti di osso compatto relativamente spesse, come nel caso del perone e, nonostante la presenza all'interno di osso spugnoso, delle coste; da altre ossa si possono ottenere in casi eccezionali frammenti che ricordano questa forma: sono i già citati *pseudoboutons*.

In realtà, anche da un perone o da una costa una tipica frattura a tre frammenti si può verificare solo in determinate condizioni, e questo giustifica la rarità dei *boutons*. Prima di tutto, è tanto più facile che avvenga una frattura di quel tipo quanto più il materiale è omogeneo; l'osso è un materiale anisotropo, ma l'anisotropia tende a diminuire, come si è detto, con il procedere del rimaneggiamento osteonico. Nelle ossa della maggior parte dei Mammiferi, quindi, più difficilmente si possono formare piani di frattura così regolari, perché l'osso è prevalentemente di tipo primario, a grosse lamelle circonferenziali e grossi fasci di osteoni primari. Questo vale anche per i grossi Carnivori in età giovanile.

Nei grossi Carnivori in età adulta, però, l'osso è formato da elementi strutturali (osteoni secondari e breccia) di dimensioni molto minori e più costanti, ed è quindi più omogeneo (cioè meno anisotropo). In questi casi, quindi, la struttura è tale da facilitare, in certe ossa ed in conseguenza di certe sollecitazioni, una frattura a *bouton*. Nella specie umana l'osso ha caratteristiche simili in età adulta; in effetti in patologia umana sono relativamente frequenti fratture da flessione del perone (o anche di certi tratti della tibia), in cui si forma appunto un terzo frammento che ha le caratteristiche dei *boutons* (fig. 12).

In *Ursus spelaeus* le condizioni più favorevoli alla formazione dei *boutons* si ritrovano quindi in individui adulti, in cui l'osso è meno anisotropo che in soggetti giovani o anziani. Infatti, le dimensioni dei *boutons* li fanno quasi sempre riferire a peroni o coste di individui di grossa taglia. Occorre ricordare che, come già precisato da SCHMIDT (1934), la frattura che determina la formazione dei *boutons* può verificarsi solo su ossa relativamente fresche.

Per quanto riguarda la formazione dei *boutons* dai peroni, in base ai dati sopra esposti si posso-

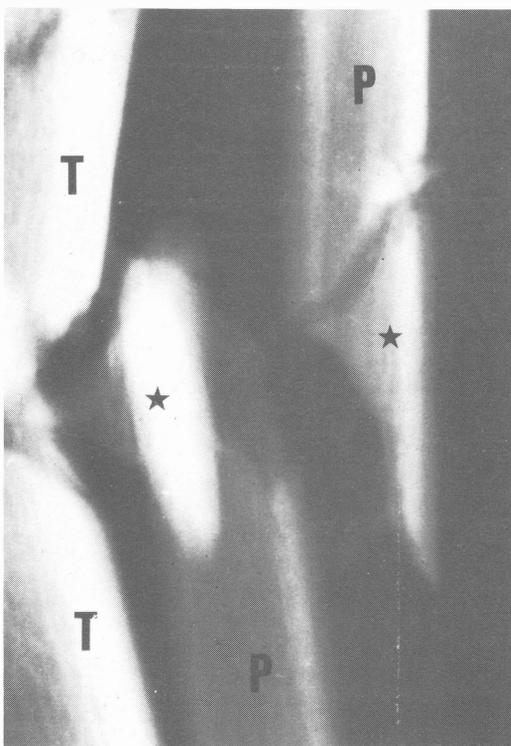


Fig. 12 - Esempio di fratture diafisarie a tre frammenti del perone (P) e della tibia (T) in patologia umana (radiografia, individuo adulto). Gli asterischi indicano i frammenti liberi originati dalla frattura delle due ossa, entrambi a forma di *bouton* a ponte incompleto.

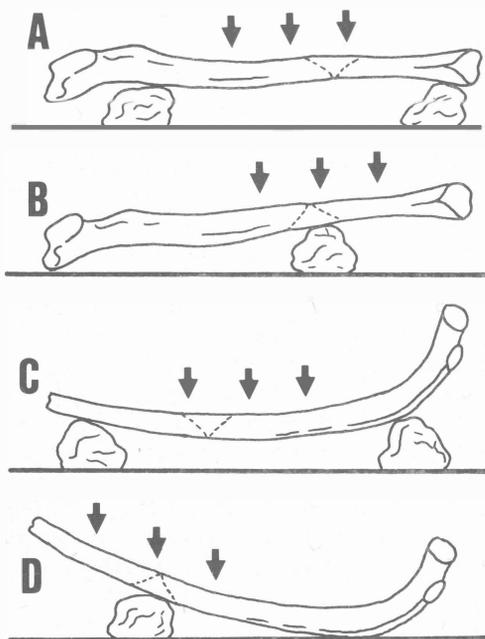


Fig. 13 - Ipotesi sul meccanismo di formazione dei *boutons* dal perone (A e B) e da una costa (C e D), in seguito a calpestio (per dettagli, v. testo).

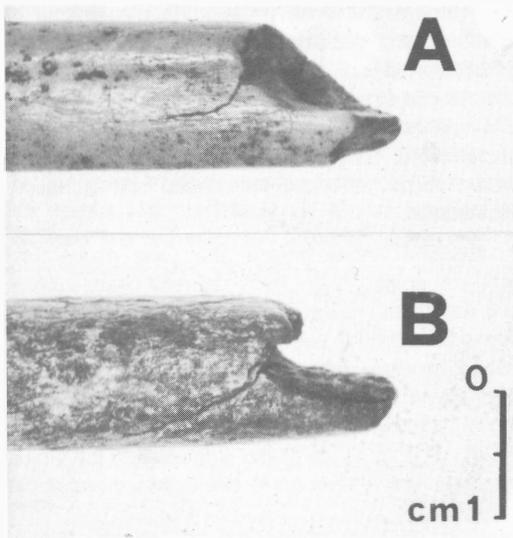


Fig. 14 - *Boutons* a ponte incompleto ancora parzialmente connessi a tratti diafisari di perone. A: da Sambughetto Valstrona; B: dal Monte Fenera (*Ciota Ciara*).

no immaginare due diversi meccanismi, schematizzati nella fig. 13 (A e B), differenti solo per la posizione dell'osso in rapporto a punti di appoggio costituiti da asperità del terreno. In teoria, nelle condizioni della fig. 13 A la frattura dovrebbe essere molto regolare ed equidistante dai due punti d'appoggio; nelle azioni di calpestio, però, il carico è distribuito in modo non uniforme, ed inoltre il perone presenta lungo la diafisi un punto di minore resistenza (v. fig. 5). La posizione della doppia frattura rispetto ai punti di appoggio può quindi variare, e di conseguenza la forma del bouton può essere non perfettamente simmetrica. In certi casi uno dei due piani di frattura può anche non essersi completato; si rivengono infatti tronconi di peroni ad una delle cui estremità vi è un *bouton* ancora connesso tramite un breve tratto di osso integro (fig. 14); situazioni del genere si possono osservare su coste ed anche sull'osso del pene che, come il perone, presenta un diametro interno piccolo rispetto all'esterno.

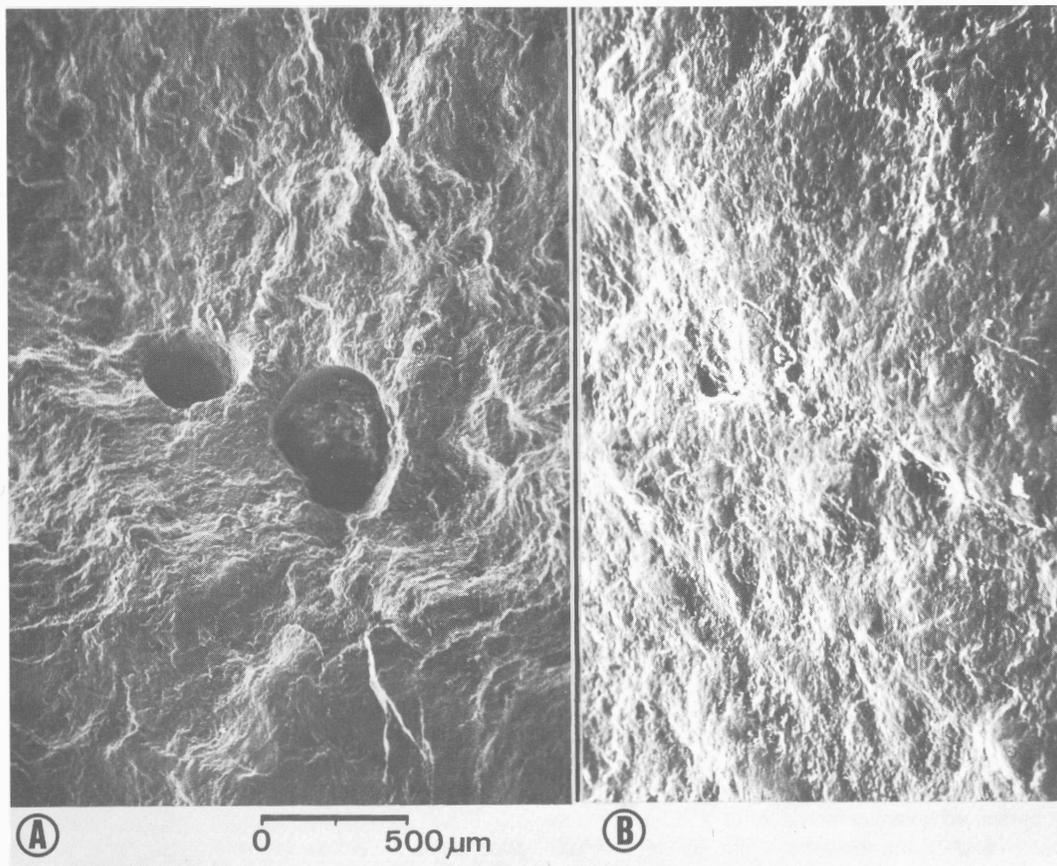


Fig. 15 - A: aspetto in microscopia elettronica a scansione di un tratto di superficie di frattura di un *bouton*; sono visibili due canali di Havers e formazioni lamellari spezzate.

B: a causa del forte grado di usura, le superfici di frattura delle schegge ossee sottoposte a calpestio prolungato non permettono più di riconoscere strutture biologiche.

Nel caso delle coste il comportamento è simile; i *boutons* derivano prevalentemente dalle ultime coste (per lo più la nona o la decima), che sono meno appiattite; il tratto di costa che più si presta a fratturarsi a *bouton* è quello ventrale, che ha sezione più regolarmente ovalare. Per la loro forma incurvata le coste sottoposte a calpestio tendono generalmente, prima di rompersi, a disporsi con la concavità verso l'alto; anche qui si possono immaginare due differenti situazioni (fig. 13). Nella condizione della fig. 13 C la frattura inizia dal lato della convessità (il *bouton* della fig. 2 C è originato in questo modo); nella maggior parte dei casi (*boutons* della fig. 2 A, B, C e D) vi è stato invece un meccanismo del tipo indicato in fig. 13 D, con inizio della frattura dalla concavità della costa. Dopo la frattura, la sostanza spugnosa interna (messa così allo scoperto) di disgrega in genere quasi completamente dando origine ad un canale simile a quello dei *boutons* derivati da peroni; in certi casi, come in uno dei *boutons* di Sambughetto (fig. 2 C) può rimanere all'interno una certa quantità di osso spugnoso.

Conclusioni

Il motivo principale per cui i *boutons* sono stati spesso interpretati come manufatti è legato soprattutto alla loro forma, che nei veri *boutons* a ponte completo può essere estremamente regolare e simmetrica, nettamente diversa da quella degli altri frammenti ossei presenti nei depositi preistorici. Per di più, le superfici di frattura hanno quasi sempre aspetto piuttosto fresco; le tracce di levigatura (dovute a calpestio continuato) che in genere caratterizzano gli pseudomanufatti ossei sono cioè scarse o assenti.

All'esame in microscopia elettronica a scansione le superfici di frattura dei *boutons* presentano infatti formazioni lamellari spezzate e canali di Havers (fig. 15 A), mentre quelle della maggior parte degli pseudomanufatti e delle schegge ossee sottoposte a calpestio prolungato non permettono più di riconoscere alcuna struttura biologica (fig. 15 B).

Una forma caratteristica come quella dei *boutons* si può però giustificare in base ai dati di biomeccanica ossea sopra esposti. In questo caso l'origine dello pseudomanufatto è stata immediata; un calpestio successivo può aver poi usurato le superfici ed eventualmente rotto il *bouton* (caso della fig. 2 F), ma la forma si era già determinata al momento della frattura iniziale dell'osso.

Anche le concentrazioni geografica e temporale possono essere spiegate, poiché si è visto che

solo determinate ossa presentano un insieme di caratteristiche macroscopiche e microscopiche tali da potersi spezzare fornendo *boutons*; queste caratteristiche si riscontrano nel perone e nelle coste di *Ursus spelaeus* (specialmente in individui adulti), fatto che giustifica una limitazione all'area alpina e ad un periodo di tempo che corrisponde al Musteriano.

Bisogna anche notare che nelle grotte «ad orso» di solito più del 90% dei resti ossei è riferibile ad *Ursus spelaeus* e che negli altri Mammiferi di media e grande taglia rappresentati nei depositi del Pleistocene superiore dell'area alpina (soprattutto Bovidi, Cervidi, Equidi) il perone manca o è molto rudimentale e le coste sono più appiattite. Inoltre, è proprio in grotte frequentate da *Ursus spelaeus* che i fenomeni di calpestio sono stati più marcati.

In teoria dovrebbe esservi una relazione inversa tra frequenza dei *boutons* in un determinato sito e grado di frequentazione del sito stesso da parte di gruppi umani paleolitici. Gli effetti del calpestio sono infatti più evidenti in grotte abitate per lunghi periodi dagli orsi, ed inoltre è tanto più probabile che si siano formati *boutons* quanto maggiore è la quantità di resti ossei (e quindi di peroni e di coste) presenti sul piano di calpestio. È allora significativo il fatto che molti *boutons* siano stati scoperti in depositi in cui tracce indiscutibili di presenza umana coeva sono scarse (come, per esempio, alla Petershöhle) o addirittura assenti (come a Sambughetto ed a Roaschia).

Tutte queste osservazioni non possono di per sé escludere in modo assoluto un intervento umano nella formazione dei *boutons*. Dimostrano però che non è necessario postulare l'azione dell'uomo, ma che i *boutons* possono essersi semplicemente formati per frattura di determinate ossa in seguito a calpestio. In conseguenza, acquistano importanza altri dati che contrastano con un'interpretazione culturale dei *boutons*. Prima di tutto, la loro morfologia è variabile, da veri *boutons* a ponte completo, che avrebbero effettivamente potuto essere utilizzati come fermagli per indumenti, a *boutons* a ponte largamente incompleto e di forma irregolare, molto più comuni, una cui applicazione pratica non è facile da immaginare. Inoltre, non si notano sui *boutons* incisioni da strumenti litici o tracce di percussione che possano esser messe in relazione ad un intervento umano nel provocare la frattura. Degno di nota è ancora, e soprattutto, il fatto che in certi casi, come già notato, manchi completamente un'industria litica accompagnante.

In base a tutte queste osservazioni non sembra corretto interpretare i *boutons* prodotti intenzionali dell'uomo e, in particolare, come testimonianze di industria musteriana; tutte le caratteristiche morfologiche dei *boutons* che sembrano in favore di un'interpretazione culturale possono in realtà essere spiegate in altro modo considerando dati relativi alla morfologia ed alla biomeccanica dell'osso. Le semplici azioni di calpestio che si sono verificate nelle caverne «ad orso» sono cioè sufficienti per essere considerate alla base dell'origine di questi pseudomanufatti.

RINGRAZIAMENTI

I *boutons* di Sambughetto Valstrona fanno parte della Collezione Maviglia del Museo Civico di Storia Naturale di Milano e sono stati riprodotti per concessione del compianto prof. O. Cornaggia Castiglioni. I *boutons* del Monte Fenera sono conservati presso il Museo di Paleontologia di Borgosesia (Vercelli) e sono stati raffigurati grazie alla cortesia del dr. F. Strobino.

L'autore desidera ringraziare il dr. M. Cannas per aver fornito la radiografia della fig. 12. Un particolare ringraziamento ai prof. R. Amprino e G. Filogamo per i consigli forniti durante la stesura del manoscritto, nelle parti relative alla struttura e biomeccanica dell'osso.

RIASSUNTO

I boutons en os o fibule musteriane. Cenni di biomeccanica dell'osso ed ipotesi interpretativa. — Il problema dell'interpretazione dei *boutons en os* o fibule musteriane è da tempo oggetto di discussione; benché già KOBY (1943) si sia pronunciato contro la natura di manufatti, spesso negli anni successivi essi sono stati riferiti ad industria musteriana in area alpina. I *boutons*, in particolare quelli a ponte completo, derivano di regola da peroni di *Ursus spelaeus*; il perone, per le sue proprietà meccaniche, si comporta come una colonna cava molto snella ed a diametro interno ridotto, con un punto di minore resistenza che corrisponde al tratto da cui con maggior frequenza sono originati i *boutons*. Una colonna cava di questo tipo, sollecitata a flessione, tende a fornire una frattura a tre frammenti, di cui quello centrale è a doppio becco di flauto, ha cioè la forma dei *boutons*. Il rapporto tra i diametri esterno ed interno della colonna cava risulta importante in quanto con l'aumentare del suo valore aumentano le probabilità di ottenere *boutons* a ponte completo.

Infatti, nel caso di *boutons* derivati da coste, il ponte è praticamente incompleto (per erosione dell'osso spugnoso interno si è formata una cavità centrale a diametro relativamente grande).

La struttura dell'osso in *Ursus spelaeus*, prevalentemente di tipo secondario (come in tutti i grossi Carnivori) riduce l'anisotropia del materiale, favorendo un andamento regolare dei piani di frattura.

Sembra quindi di poter affermare che non è necessario presupporre in intervento umano per spiegare l'origine dei *boutons en os*. Viste le caratteristiche morfologiche e meccaniche delle ossa da cui essi derivano, le normali azioni di calpestio esercitate da grossi animali frequentatori delle grotte su parti corporee o ossa isolate sembrano sufficienti a spiegare la formazione di questi oggetti. Bisogna ancora precisare che nel caso dei *boutons* l'origine è stata immediata a seguito della frattura; non è cioè stata necessaria per la loro formazione quell'usura da calpestio continuato che è alla base dell'origine della massima parte degli pseudomanufatti ossei.

SUMMARY

A Bone Biomechanical Explanation of the Formation of so-called Boutons en Os or Moustierian Fibulae. — Whether or not *boutons en os*, or Moustierian fibulae, are man-made is still debated. Even though KOBY (1943) asserted that they were not artifacts, they have since been often referred to the Moustierian industry of the Alpine area. *Boutons*, in particular those with a complete bony bridge, are usually derived from the *Ursus spelaeus* peroneal bone, whose mechanical properties are those of a slender hollow column with a small inside diameter. It as a weaker segment, from which the *boutons* have usually originated. When such a hollow column is broken owing to

bending stress, three fragments are usually formed; the central fragment is double-bevelled, namely *bouton*-shaped.

The ratio between the outside and inside diameters of the column is an important factor, since the chances of obtaining *boutons* with a complete bony bridge increase as it increases. *Boutons* derived from ribs whose trabecular bone has been eroded (leaving them in the form of columns with a large inside diameter), in fact, usually have an incomplete bridge.

The secondary structure forming an essential part of the cortical bone in *Ursus spelaeus*, as in all the large Carnivores, reduces anisotropy, so that the fracture planes run in a uniform manner.

It seems therefore that it is not necessary to postulate human actions to justify the formation of the *boutons en os*. The morphological and mechanical properties of *Ursus spelaeus* peroneal bone and ribs suggest that, rather than artifacts, *boutons en os* are the result of the continual trampling that took place in caves frequented by bears. It must be emphasised that *bouton* formation was immediate. In other words, wearing away was not an essential factor. In this respect, they differ from most of the pseudo-bone-implements found in Alpine caves.

RÉSUMÉ

Les boutons en os ou fibules moustériennes. Aperçu de biomécanique osseuse et hypothèse d'interprétation. — Le problème de l'interprétation des boutons en os, ou fibules "moustériennes", est objet de discussion depuis longtemps; bien que déjà KOBY (1943) se soit prononcé contre l'hypothèse d'une origine liée à une intervention humaine, souvent, dans la littérature des années suivantes, il sont été attribués à industrie moustérienne en domaine alpin.

Les boutons en os, surtout ceux à pont complet, proviennent en général des péronés de *Ursus spelaeus*. Le péroné, quant à ses propriétés mécaniques, se conduit comme une colonne creuse à petit diamètre interne. Sa diaphyse montre un tractus de résistance réduite; ce dernier correspond bien au point de l'os d'où le plus fréquemment les boutons proviennent. Quand on sollicite en flexion une colonne creuse de ce genre, on peut induire une fracture qui est, en général, à trois fragments. Le fragment central est à forme de bouton, c'est à dire à double bec de flûte. Le rapport entre diamètre externe et interne de cette colonne creuse se démontre expérimentalement important dans la détermination de la forme du bouton; on obtient plus facilement des boutons à pont complet si la valeur de ce rapport est élevé. En effet, quand on étudie des boutons dérivés des côtes (ou la paroi d'os cortical est mince) on voit qu'il s'agit presque toujours de boutons à pont incomplet.

La structure histologique de l'os compact de *Ursus spelaeus* est pour la plupart, dans les sujets adultes, de type secondaire (comme en général dans les os des Carnivores de grande taille); l'anisotropie du matériel est donc réduite, ce qui favorise un développement régulier des plans de fracture.

Il paraît, en conclusion, qu'on peut affirmer qu'il n'est pas nécessaire d'invoquer une intervention humaine pour l'origine des boutons en os. Sur la base des propriétés mécaniques des os d'origine des boutons, on peut affirmer que les actions de piétinement, exercées par les Ours des cavernes sur des parties de cadavres ou sur des os isolés, suffisent pour justifier la formation de ces objets. On doit encore préciser que l'origine des boutons en os a été instantanée au moment de la fracture de l'os; leur formation n'est donc pas liée à une usure ou polissage des surfaces, résultats d'un piétinement prolongé, comme dans le cas de la plupart des pseudo-instruments osseux.

BIBLIOGRAFIA

- ABEL O., KYRLE G., 1931 - Die Drachenhöhle bei Mixnitz. Speleol. Monographien, 7-8, Wien.
- AMPRINO R., GODINA G., 1947 - La struttura delle ossa nei Vertebrati. Comm. Pont. Accad. Sci., 11, 333.
- ANDRIST D., FLÜCKIGER W., ANDRIST A., 1964 - Das Simmental zur Steinzeit. Acta Bernensia, 3, 212.
- BÄCHLER E., 1940 - Das alpine Paläolithikum der Schweiz. Monographien für ur-und Frühgeschichte der Schweiz, Bd II; Société de Préhistoire Ed., Basel.
- BAROCELLI P., 1960 - Raffaello Battaglia e la Paleontologia veneto-padana. Sibirium, 5, 9.
- BATTAGLIA R., 1953 - Le ossa lavorate della caverna Pocala nella Venezia Giulia ed il problema del "Musteriano alpino". Bull. Paletn. Ital., 8, 5.

- BERNABÒ-BREA L., 1947 - **Le caverne del Finale**. Itinerari storico-turistici, 6; Istituto Int. di Studi Liguri Ed., Bordighera.
- BORDES F., 1958 - **Recensione dell'articolo di J. Combièr, 1956** (op. cit.). L'Anthropologie, 62, 296.
- BORDES F., 1979 - **Typologie du Paléolithique ancien et moyen**. Cahiers du Quaternaire, CNRS Ed., Paris (3e édition).
- BOUCHUD J., 1974 - **Les traces de l'activité humaine sur les os fossiles**. Premier Colloque Int. sur l'industrie de l'os dans la Préhistoire, 27; Ed. Univ. de Provence.
- BRANCHINI I., 1928 - **Esame tipologico dei manufatti della Grotta di Equi**. Arch. Antropol. Etn., 58, 48.
- CAMPS-FABRER H., 1976 - **Le travail de l'os**. La Préhistoire française, vol. 1, 717; CNRS Ed., Paris.
- COMBIÈR J., 1956 - **La Grotte des Ours à Châteaubourg (Ardèche) et le problème du "Moustérien alpin"**. Cahiers Rhodaniens, 3, 3.
- COMBIÈR J., 1967 - **Le Paléolithique de l'Ardèche**. Publ. Inst. Préhist. Univ. Bordeaux, mémoire n. 4, Bordeaux.
- DE STEFANI C., 1917 - **La grotta preistorica di Equi nelle Alpi Apuane**. Arch. Antropol. Etn., 46, 26.
- EVANS F.G., 1957 - **Stress and strain in bones**; C.C. Thomas publ., Springfield.
- EVANS F.G., 1973 - **Mechanical properties of bone**; C.C. Thomas publ., Springfield.
- EVANS F.G., 1976 - **Mechanical properties and histology of cortical bone from younger and older men**. Anat. Record, 185, 1.
- FEDELE F., 1966 - **La stazione paleolitica del Monfenera (Borgosesia)**. Riv. Studi Liguri, 32, 5.
- FEDELE F., 1974 - **Monfenera 1973, rapporto preliminare**. Bull. Et. Préhist. Alp., 6, 53.
- FOZZATI L., 1974 - **Il reperto 118:1 del Ciutarun e il problema delle "fibbie" ossee musteriane**. Bull. Et. Préhist. Alp., 6, 77 (Appendice, in F. Fedele, 1974, op. cit.).
- GIACOBINI G., 1976 - **Note di Preistoria piemontese, il Paleolitico**. Studi Piemontesi, 5, 69.
- GIACOBINI G., in stampa - **Le "fibule" musteriane. Cenni di biomeccanica dell'osso ed ipotesi interpretativa**. Antropol. Contemporanea, 2 (Atti II Congr. naz. Scienze Antropologiche, Trieste, ottobre 1978).
- GRAZIOSI P., 1944 - **La Grotta dell'Onda, secondo gli scavi dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana (1931)**. Arch. Antropol. Etnol., 74, 73.
- HENRI-MARTIN G., 1906 - **Ossements utilisés par l'homme moustérien du gisement de La Quina**. Bull. Soc. Préhist. France, 4, 26.
- HENRI-MARTIN G., 1907 - **Recherches sur l'évolution du Moustérien dans le gisement de La Quina (Charente). Industrie Osseuse**. Vol. 1, Schleicher Ed., Paris.
- HÖRMANN K., 1923 - **Die Petershöhle bei Velden**. Abh. Naturhist. Gesell. zu Nürnberg, 21, 123.
- HÖRMANN K., 1933 - **Die Petershöhle bei Velden in Mittelfranken, eine altpaläolithische Station**. Abh. Naturhist. Gesell. zu Nürnberg, 24, 112.
- JÉQUIER J.-P., 1975 - **Le Moustérien alpin, révision critique**. Cahiers d'Archéol. Romande (Eburodunum II), Inst. Arch. Yverdonnoise Ed., Yverdon.
- KELLERMANN D., 1913 - **Das Kummetsloch bei Streitberg, eine paläolithische jägerstation**. Abh. Naturf. Ges. Nürnberg, 9, 12.
- KOBY F.-E., 1943 - **Les soi-disant instruments osseux du Paléolithique alpin et le charriage à sec des os d'ours des cavernes**. Vehr. Naturf. Ges. Basel, 54, 59.
- LEQUATRE P. e LEROI-GOURHAN ARL., 1966 - **La Grotte de Prélétang (commune de Presles, Isère)**. Gallia Préhistoire, 9, 1.
- LEROI-GOURHAN A., 1950 - **La Caverne des Furtins (commune de Berzé-la-Ville, Saône-et-Loire)**. Préhistoire, 11, 17.
- MAVIGLIA C., 1952 - **Le cosiddette «fibbie» del Musteriano alpino rinvenute a Sambughetto Valstrona (Novara)**. Atti I Congr. Int. Studi Liguri (1950), 41; Ist. Int. Studi Liguri Ed., Bordighera.
- MÜHLHOFER F., 1937 - **Zur Frage der «Protolithischen Knochenkultur» nach den Funden in fränkischen Höhlen**. Bayerische Vorgeschichtsblätter, 14, 8.
- OCTOBON F.C.E., 1957 - **Grotte du Lazaret (A.-M.); troisième étude sur les fouilles effectuées dans le locus VIII de cette grotte**. Bull. Musée Anthropol. Préhist. Monaco, 4, 3.
- OLIVO O., MAJ G., TOAIARI E., 1937 - **Sul significato della minuta struttura del tessuto osseo compatto**. Bull. Sci. Med. Bologna, 109, 369.
- PIETTE E., 1906 - **Fibules pléhistocènes**. La Revue Préhist., 1, 12.
- PUCCIONI N., 1922 - **Esplorazione sistematica della Buca del Tasso**. Arch. Antropol. Etnol., 52, 245.
- SCHMIDT A., 1934 - **Über die Entstehung sogenannter «Knöpfe» in altsteinzeitlichen Fundschichten**. Mannus, 26, 204.
- SIMKIN A., ROBIN G., 1974 - **Fracture formation in differing collagen fiber pattern of compact bone**. J. Biomechanics, 7, 183.
- SMITH J. W., WALMSLEY R., 1959 - **Factors affecting the elasticity of bone**. J. Anat., 93, 503.
- VAUFREY R., 1928 - **Le Paléolithique italien**. Arch. Inst. Paléont. Humaine, mémoire n. 3, Paris.
- WAGNER J., EBBENI J., CLEMENS M., 1975 - **Application de l'interferométrie holographique à l'étude du complexe tibio-péronier chargé axialement**. Acta Orthop. Belgica, 41, 24.