

COLLANA DI STUDI URBANISTICI  
*diretta da Mario Coletta*

4



Centro Interdipartimentale di Ricerca  
L.U.P.T.  
Laboratorio di Urbanistica e Pianificazione Territoriale  
**Università degli Studi di Napoli Federico II**



# Le pietre fossili “maestri muti”

*a cura di*

Luciano Campanelli

*Contributi di*

Filomena Amore, Carmela Barbera, Antonello Bartiromo, Sergio Bravi, Maria Buonaguro, Luciano Campanelli, Luigi Capasso, Mario Coletta, Pellegrino Covino, Bruno D'Argenio, Cristiano Dal Sasso, Fabio Marco Dalla Vecchia, Giuseppe Leonardi, Tullio Secondo Pescatore, Li Portenlangher, Pasquale Raia, Maria Rosaria Senatore, Marco Signore, Luis Rey, Giovanni Todesco, Mario Tozzi, Günter Viohl, Alexander Wagensommer



Copyright © MMXV  
Aracne editrice int.le S.r.l.

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)  
[info@aracneeditrice.it](mailto:info@aracneeditrice.it)

via Quarto Negroni, 15  
00040 Ariccia (RM)  
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-8633-9

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,  
di riproduzione e di adattamento anche parziale,  
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie  
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: luglio 2015

*“La parola è un’ala del silenzio”*  
*Pablo Neruda*



# Indice

- 13 Ringraziamenti
- 15 Genialità dei fossili  
*Mario Tozzi*
- 19 Introduzione  
*Luciano Campanelli*

## Parte I **Super trapassato remoto**

- 23 Una storia minore  
*Luciano Campanelli*
- 29 Le Stromatoliti e la Terra del pre Cambriano  
*Bruno D'Argenio*

## Parte II **Il Sannio fossilifero**

- 41 Un viaggio a ritroso nel tempo  
*Luciano Campanelli*
1. Introduzione, 41 – 2. Una storia di duecento milioni di anni, 41 –  
3. Il bacino fluvio-lacustre della valle Caudina, 44 – 4. Fortore, 45 –  
5. Pietraraja, 46 – 6. Taburno-Camposauero, 48 – 7. Conclusioni, 49.

- 59 Benevento e la sua storia. Il contributo della geologia  
*Maria Rosaria Senatore*  
1. Introduzione, 59 – 2. Metodi, 61 – 3. La carta geologica, 62 – 4. La successione dell’Anfiteatro Romano, 62 – 5. Conclusioni, 66 – 6. Approfondimenti, 66.
- 69 Il giacimento fossilifero di Pietraroja: storia nella storia  
*Luigi Capasso*
- 81 Studi geologici in località “le cavere”, Pietraroja (Benevento)  
*Tullio Secondo Pescatore*  
1. La successione mesozoica, 82 – 2. I terreni miocenici, 83 – 3. Lo scavo in località “Le Cavere”, 84 – 4. Conclusioni, 86 – 5. Approfondimenti, 88.
- 93 Recenti ritrovamenti fossili nel Parco Geopaleontologico di Pietraroja  
*Marco Signore*
- 105 I coccodrilli del giacimento di Pietraroja  
*Carmela Barbera*  
1. Premessa, 105 – 2. I coccodrilli, 107 – 3. Conclusioni, 108.
- 119 *Scipionyx samniticus*. Osteology, ontogenetic assessment, phylogeny, soft tissue anatomy, taphonomy and paleobiology  
*Cristiano Dal Sasso*
- 149 Come ho scoperto *Scipionyx samniticus* a Pietraroja  
*Giovanni Todesco*

### Parte III Uno sguardo oltre il Sannio

- 161 Cento milioni di anni fa. Itinerari alla scoperta dei fossili del territorio campano  
*Sergio Bravi*
- 183 Cento milioni di anni fa, itinerari alla scoperta dei fossili del Gargano  
*Alexander Wagensommer*  
1. Inquadramento geologico, 183 – 2. Le impronte, 187.



- 199 Dinosauri adriatici, una finestra aperta su di un mondo scomparso  
*Fabio M. Dalla Vecchia*
- 223 “Nonsoloeuropa”. Giacimenti libanesi del Cretaceo superiore  
*Fabio M. Dalla Vecchia*
- 237 Quaderno di bordo, esplorazioni nelle “Valli dei Dinosauri”  
*Giuseppe Leonardi*
1. Messico, 237 – 2. Brasile 1977, 240 – 3. Ande boliviane 1999, 243 –  
4. Australia 1997 e 1999, 245.

#### Parte IV

### Contributi di paleontologia applicata

- 271 La Paleontologia di campo  
*Marco Signore*
- 287 La paleobotanica nell’ambito delle Scienze della Terra: la ricerca in  
Campania  
*Antonello Bartiromo*
1. Introduzione, 287 – 2. Materiali e metodi per lo studio delle piante  
fossili, 288 – 3. La ricerca Paleobotanica in Campania, 294 – 4. Conclusio-  
ni, 299.
- 311 Le variazioni del clima nel tempo: i fossili, strumento per riconoscerle e  
ricostruirle  
*Filomena Amore*
- 329 La biocronologia dei mammiferi continentali italiani  
*Pasquale Raia*

#### Parte V

### La paleontologia “nascosta”, omologhi europei e prospettive interculturali e disciplinari di sviluppo condiviso

- 349 La litografia: un’invenzione per immagini  
*Li Portenlänger*
1. La litografia, 349 – 2. L’invenzione, 349 – 3. La tecnica, 352 – 4. L’impie-  
go, 354.

## *Scipionyx samniticus* Osteology, ontogenetic assessment, phylogeny, soft tissue anatomy, taphonomy and paleobiology

CRISTIANO DAL SASSO

Trascrizione della conferenza tenuta a Benevento il 13 marzo 2012<sup>1</sup>.

Ringrazio il professor Luciano Campanelli che mi ha dato l'opportunità di essere tra voi nella terra di *Scipionyx* per parlarvi delle recenti scoperte su questo dinosauro. Esso è stato oggetto di una monografia (1) presentata lo scorso giugno a Milano con il collega Simone Maganuco, collaboratore del Museo Civico di Storia Naturale, a completamento di un lavoro che ha richiesto molto impegno e che ha nuovamente portato alla ribalta questo fossile. Nonostante le scoperte siano continue, *Scipionyx* detiene ancora il primato di essere un reperto unico al mondo in quanto, oltre allo scheletro, conserva una varietà incredibile di tessuti molli fossilizzati.

Non preoccupatevi per il titolo, che leggete in inglese: la conferenza odierna è in italiano ma ho voluto rispettare il titolo della monografia, che contiene tanti sottotitoli per gli altrettanti diversi capitoli del libro — quasi trecento pagine — in cui abbiamo riesaminato l'anatomia dell'animale e il suo contesto sedimentologico, verificando dunque la sua reale provenienza dal giacimento paleontologico di Pietraroja. Abbiamo studiato anche l'età dell'animale perché, essendo morto quando era molto giovane, ha mantenuto proporzioni corporee diverse. Queste possono deviare l'interpretazione della sua anatomia e le affinità rispetto ad altri dinosauri che, essendo esemplari adulti, hanno una struttura corporea diversa.

Il lavoro ha avuto la finalità di conoscere con maggiore dettaglio

1. <http://www.youtube.com/watchv=77msdZxsRIY> – <http://www.youtube.com/watchv=2gcQjR7khnE>. Videoripresa dell'intervento "Paleontologo Dal Sasso" Parte I e II (pubblicato il 29.4.2013).

il dinosauro per determinare la sua classificazione, il suo modo di vivere, e anche ciò che aveva mangiato. Abbiamo infatti scoperto che, nonostante la sua brevissima vita, prima di morire il piccolo venne nutrito dai genitori.

Permettetemi ora una brevissima ricapitolazione su cosa è un dinosauro, perché è importante anche per capire il valore di questo fossile rispetto alle conoscenze che i geologi avevano dell'Italia nell'Era Mesozoica. Prima della scoperta di *Scipionyx* si riteneva infatti che la nostra penisola non fosse adatta alla vita dei dinosauri, in quanto animali esclusivamente terrestri, poiché l'Italia, sulla base di molti studi geologici(2, 3), doveva essere sommersa da un grande oceano chiamato Tetide.

I dinosauri erano rettili molto diversi dagli altri: se osserviamo infatti gli attuali cocodrilli e lucertole, vediamo che hanno gli arti posizionati di lato rispetto al corpo, con una postura "divaricata". Gli inglesi la chiamano "sprawling" perché toccano per terra con la pancia e questo non consente movimenti in agilità. I dinosauri invece sono riusciti, prima ancora dei mammiferi e dell'uomo, a sviluppare una postura colonnare degli arti: le zampe posizionate in verticale sotto il corpo permisero loro di evolversi notevolmente anche in dimensioni, perché si tratta di una struttura architettonica perfetta per scaricare bene a terra il peso corporeo. La testa del femore è simile a quella dell'uomo, cioè messa di lato come una "L" rovesciata e ciò consente la verticalità degli arti. Questo particolare anatomico, come per l'essere umano, così anche per i dinosauri ha consentito una efficace deambulazione e pertanto è stato determinante per la loro diffusione su tutte le terre emerse del pianeta.

La dominazione dei dinosauri passò attraverso tre periodi dell'Era Mesozoica che tutti conosciamo: Triassico, Giurassico e Cretaceo. La grande diffusione dei dinosauri nell'era in cui vissero anche altri grandi rettili ha contribuito ad estendere in modo talvolta improprio il concetto di dinosauri ad altri animali preistorici, indipendentemente dalla loro struttura corporea: al grande pubblico sembravano dinosauri anche gli ittiosauri, i plesiosauri, i rettili volanti, senza che si tenesse conto che per dinosauri i paleontologi intendevano rettili molto evoluti nella deambulazione. Invece bisogna sempre guardare le zampe, bisogna vedere se sono poste verticalmente sotto al corpo. Alcuni dinosauri erano bipedi, altri erano quadrupedi, ma avevano sempre questa postura colonnare degli arti.

All'inizio del Giurassico c'è la grande "esplosione" evolutiva dei dinosauri, ma l'Italia non è una terra proprio facile da raggiungere. Se avessimo potuto sorvolare con un satellite artificiale il pianeta, circa 190 milioni di anni fa, avremmo visto una strana disposizione dei continenti e avremmo visto un'Italia tutta sommersa, all'interno di un golfo oceanico molto ampio. Questo oceano, chiamato Tetide, nel corso dell'Era Mesozoica si insinuerà sempre di più da est verso ovest dividendo alla fine le terre emerse in due grandi supercontinenti: Laurasia a nord e Gondwana a sud.

Ecco quindi perché si diceva che l'Italia non poteva essere terra dei dinosauri. In realtà non era così! Lo si è capito soltanto con la scoperta delle prime orme fossili, che indicano il passaggio di animali terrestri sulle attuali Dolomiti (3), ma dal punto di vista dei resti scheletrici fino al 1980 nulla c'era di conosciuto. La prova più importante è stata proprio il ritrovamento di *Scipionyx*: in una formazione rocciosa già nota per la ricchezza di pesci fossili (4, 5), che testimoniava la presenza del mare, ma dove già in precedenza si ravvisavano tracce di terre emerse nelle vicinanze, grazie al rinvenimento di rettili terrestri e di un anfibio.

Quello di Pietraraja è un giacimento molto noto perché descritto dagli scienziati da oltre duecento anni (6). Tra le prime descrizioni più conosciute vi è quella del 1798, ad opera di Scipione Breislak (7), al quale abbiamo voluto dedicare il nome di *Scipionyx* durante lo studio preliminare del fossile, condotto insieme al collega napoletano Marco Signore.

La storia della scoperta è ormai nota e mi limito in questa sede a citare le date più importanti: 1980 è l'anno in cui Giovanni Todesco, un privato cittadino della provincia di Verona appassionato di fossili, scopre questo fossile nelle cave di Pietraraja (Fig. 1). Lo tiene a casa sua, non riconoscendone l'importanza fino al 1993, quando il collega Giorgio Teruzzi ed il sottoscritto hanno la possibilità di vedere questo "strano" fossile. In realtà, già a prima vista la sua struttura anatomica era inconfondibile: in un momento in cui la ricerca scientifica iniziava a comprendere che i dinosauri non erano solo animali giganteschi, le tre dita negli arti anteriori erano la prova scientifica che si trattava del primo dinosauro italiano.

La competenza territoriale sul giacimento di Pietraraja è della Sovrintendenza di Salerno, presso cui nel 1993 viene depositato il reperto

fossile, che così può essere restaurato e successivamente studiato. Il lavoro di restauro è stato lungo ma necessario per poter vedere bene non solo le ossa dell'animale ma anche i tessuti molli, e quindi studiarlo nel dettaglio senza danneggiarlo, operando delicatamente con strumenti di preparazione manuali ed evitando l'uso di sostanze chimiche estranee, che potessero inquinare e quindi compromettere il reperto. Questo intervento di preparazione (Fig. 2) è stato realizzato tra il 1994 e il 1997 insieme a Sergio Rampinelli, un valente collaboratore volontario del museo di Milano. Successivamente, con Marco Signore che si era appena laureato all'Università di Napoli, scrivemmo un articolo che nel 1998 fu pubblicato su *Nature*, la rivista più prestigiosa al mondo (8). Ricordo che l'articolo fu accettato dal comitato scientifico di redazione solo dopo nove mesi perché gli editori temevano che il fossile non fosse autentico, tale era la sua eccezionalità. Fu un grande momento per la paleontologia italiana perché in tutto il mondo, ed in particolare in quello scientifico, si venne a sapere dell'esistenza di questo incredibile fossile.

L'articolo di *Nature* era solo una diagnosi preliminare di tre pagine, che si focalizzava sulla presentazione di tessuti molli che fino ad allora quasi mai erano stati rinvenuti nei reperti fossili. Era anche una sorta di carta d'identità di una nuova specie animale, contenente la definizione del nome scientifico *Scipionyx sanniticus*. Fu così che ebbe inizio un secondo e più lungo lavoro di studio, protrattosi per altri anni e reso possibile grazie alla collaborazione continua con la Sovrintendenza di Salerno, la quale ad un certo punto prestò il reperto al Museo di Storia Naturale di Milano, rendendo possibile la sua esposizione in una mostra tematica su Pietraroja, e consentendo congiuntamente lo studio del reperto stesso.

Tutto il lavoro svolto sino ad oggi è racchiuso in una monografia (1) (Fig. 3). Lo stato di conservazione di *Scipionyx* è tipico di molti fossili che si trovano nei giacimenti di calcari finemente stratificati: il reperto conserva una certa tridimensionalità, non è schiacciato ma è stato deformato in modo plastico e molto lentamente, insieme allo strato di fango in cui si è depositato sul fondo della laguna di Pietraroja. Le ossa in questi casi non si possono estrarre a tutto tondo dalla roccia su cui poggiano, ed è per questo che il restauro del reperto è stato finalizzato alla creazione di un bassorilievo. L'animale è comunque piccolissimo, quindi anche se si tratta di un dinosauro abbiamo dovuto studiarlo sempre al microscopio.

Uno dei metodi più sofisticati e utili per ricostruire la tridimensionalità di un fossile è quello di osservarlo attraverso una TAC (Tomografia Assiale Computerizzata). Gli apparecchi medicali però non sono precisissimi ad alto ingrandimento e quindi, considerando che lo spessore del fossile è di soli 4–5 millimetri, abbiamo potuto vedere solo alcune strutture anatomiche. Grazie ad una collaborazione con l’Ospedale Maggiore di Milano abbiamo eseguito queste indagini non invasive, che ci hanno consentito di osservare il piccolo dinosauro quasi in trasparenza. Per esempio, in un ingrandimento del cinto pelvico c’è una piega dell’ultimo tratto dell’intestino che ha forma di U, che si vede soltanto nella fetta di TAC più profonda, cioè nella sezione che riguarda una parte che è ancora all’interno della roccia. Se confrontata con le altre fette successive, ci fa capire come questa ansa dell’ultimo tratto dell’intestino sia immersa verticalmente nel sedimento, che ingloba ancora una parte del dinosauro.

Un metodo di studio molto più semplice, che all’inizio sembrava un gioco ma che si è rivelato assai utile, è stato quello di “estrarre” le ossa del cranio indirettamente, cioè ridisegnanole una ad una su un cartoncino pieghevole e ricomponendole tridimensionalmente con colla e nastro adesivo. In questo modo abbiamo fatto una scoperta per nulla scontata: tutte le ossa si riarticolavano perfettamente, andando a riformare il cranio in tre dimensioni, tranne le ossa fronto–parietali, che inizialmente pareva si fossero rotte durante lo schiacciamento del fossile ad opera della diagenesi.

I margini delle due ossa non combaciavano comunque, e questo perché il vuoto tra esse era reale e naturale: corrispondeva alla fontanella fronto–parietale, una piccola finestra tra le ossa in formazione e non ancora suture tra loro, che c’è anche nei neonati della nostra specie, nei pulcini degli uccelli e nei cuccioli dei mammiferi. Questo carattere di immaturità ci fa capire come questo animale fosse molto giovane al momento della morte.

La ricostruzione del cranio in 3D (Fig. 4) è stata molto complicata, come se avessimo ricomposto circa ottanta pezzi di un complicato puzzle in cui le tessere erano delicate ossa appiattite una sull’altra in pochi millimetri, tanto che non si capiva quali appartenessero al lato destro e quali al lato sinistro.

A documentare che ci troviamo in presenza di un dinosauro neonato non c’è solo la fontanella fronto–parietale ma anche tantissimi

altri caratteri infantili, sia nello scheletro del cranio che in quello post-craniale. Per esempio, il muso molto corto e gli occhi grandi servono per inibire l'aggressività degli adulti e invogliano i genitori a nutrire i neonati. Inoltre tutte le vertebre non sono ancora co-ossificate, cioè la parte dorsale delle vertebre (i cosiddetti archi neurali) è ancora separata da quella ventrale (i corpi vertebrali) e la sutura neurocentrale, che dovrebbe unire le due parti, è ancora aperta. Questa sutura ossifica mentre l'animale cresce; nello *Scipionyx* era talmente debole che la fossilizzazione ha separato i corpi vertebrali dalle rispettive spine, a riprova che l'animale era appena in grado di camminare.

Grazie alla collaborazione con un'équipe internazionale di veterinari abbiamo potuto chiarire alcune stranezze nella posizione degli organi interni, che ci avevano dato dubbi. Il dato più enigmatico era la posizione dell'intestino, che anziché essere sostenuto dalle ossa del cinto pelvico era spostato tutto in avanti e lasciava uno spazio vuoto sotto l'addome. Che cosa significasse questo vuoto è una domanda rimasta irrisolta per lungo tempo, fino a quando un veterinario sudafricano, Fritz Huchzermeyer, non ci ha mostrato le fotografie di alcuni piccoli cocodrilli morti per una patologia che si chiama "ritenzione del sacco del tuorlo". Abbiamo così capito che questo spazio addominale nel fossile di *Scipionyx* probabilmente era occupato da un residuo del tuorlo, che l'animale stava ancora utilizzando come nutrimento di riserva prima di diventare completamente autonomo dai genitori. Ovviamente il sacco del tuorlo qui non si è conservato perché si tratta di un liquido che non può fossilizzare, tuttavia lo spazio lasciato nell'addome è compatibile con la presenza del sacco del tuorlo.

A questo punto abbiamo provato a ricomporre l'animale rannicchiato all'interno di un uovo (9) della lunghezza di circa undici centimetri, deducendo che si sarebbe trattato di un dinosauro neonato che non superava la lunghezza di quarantacinque centimetri e il peso di circa trecento grammi.

Nonostante la giovanissima età molte ossa, anche quelle più delicate, si erano già formate e tra queste la furcula o forcella (o "wishbone", come lo chiamano più popolarmente gli inglesi). La furcula dei volatili è abbastanza simile a quella dei dinosauri da cui discendono (10); cambia solo l'angolo di congiunzione dei due rami, che rappresentano le clavicole, le quali nei dinosauri carnivori ad un certo punto dell'evoluzione si sono fuse. La scoperta di *Scipionyx*, in quest'otti-

ca, rafforza anche il rapporto evolutivo (e quindi di parentela) tra dinosauri carnivori e uccelli.

Dopo aver studiato tutto lo scheletro di *Scipionyx* abbiamo finalmente potuto fare un cladogramma dei dinosauri ad esso affini (Fig. 7), cioè ricostruire un albero genealogico che ci mostrasse tutti i gradi di parentela. Questa è un'operazione che non si può fare mentalmente ma occorre un calcolatore, capace di confrontare contemporaneamente tantissimi caratteri anatomici in tantissime specie diverse. Occorre però attenzione perché i caratteri giovanili, se non riconosciuti, possono fuorviare la costruzione dell'albero filogenetico. Solo individuando prima i caratteri neonatali e poi escludendoli dai calcoli statistici è stato possibile confrontare il nostro *Scipionyx* con altre specie di dinosauri, di cui conosciamo solo individui adulti.

Attraverso uno studio tassonomico comparato di alcuni mesi, che contemplava la disamina di trecentosessanta caratteri anatomici in ben novantacinque specie diverse, abbiamo capito che *Scipionyx* apparteneva alla famiglia dei compsognatidi (II). Una famiglia già nota, come ha detto giustamente il collega Campanelli nel citare *Juravenator*, del Giurassico superiore della Baviera (12), come "cugino" più evoluto di *Scipionyx*. *Scipionyx* infatti, come indica la sua precoce ramificazione nell'albero evolutivo, è molto ancestrale in quanto dal punto di vista strutturale rappresenta un compsognatide basale. E questo nonostante sia del Cretaceo: *Scipionyx* è vissuto dopo questi dinosauri bavaresi, ma ha mantenuto un'anatomia più primitiva, forse perché si è evoluto separatamente dagli altri compsognatidi in condizione di parziale isolamento geografico.

Parliamo ora dei tessuti molli, che sono la caratteristica più interessante di questo fossile unico al mondo. Una fotografia in luce naturale mostra come i tessuti molli siano già ben evidenti a occhio nudo: in particolare l'intestino, grazie ad una colorazione intermedia tra la matrice molto chiara e le ossa bruno-scure. Se però fotografiamo *Scipionyx* sotto la luce ultravioletta (Fig. 6) abbiamo la possibilità di vedere anche i resti che sono conservati sotto forma di un sottile velo organico; in particolare vediamo che all'interno del torace appare una macchia molto scura, con una colorazione diversa da tutto il resto del corpo dell'animale. Abbiamo indagato approfonditamente la macchia perché avevamo già ipotizzato che la sua posizione fosse compatibile con i resti del fegato del dinosauro, ma non avevamo avuto ancora



prove geochimiche. Finché non abbiamo eseguito delle analisi con un microscopio elettronico a scansione dotato di microsonda. Prima però desidero mostrarvi una mappa generale dei tessuti molli (Fig. 1 a) che è stata realizzata integrando varie metodologie diagnostiche; la varietà di colori nella colonna a destra rappresenta diversi tipi di tessuti. Questa varietà documenta un altissimo grado di conservazione, che non ha paragoni in nessun altro vertebrato fossile dell'Era Mesozoica scoperto fino ad ora.

In questa sede ci limiteremo all'osservazione di pochi tessuti. In luce naturale le ossa degli artiposteriori hanno una colorazione piuttosto uniforme, ma in luce ultravioletta (Fig. 6) le superfici articolari delle ginocchia assumono una colorazione brillante, quasi dorata, e a maggiore ingrandimento possiamo notare una precisione anatomica nella posizione di questa luminescenza: ripete esattamente la forma delle superfici delle articolazioni perché sono ancora presenti i residui delle cartilagini del ginocchio di *Scipionyx*.

Ritorniamo alla enigmatica macchia rossastra visibile in luce naturale (Fig. 7a), che indica la presenza di minerali di ferro: se osservata in luce ultravioletta (Fig. 7b), mostra di aver impregnato una parte consistente della matrice calcarea, a riprova del fatto che questa sostanza in origine doveva essere liquida e che si è diffusa nel sedimento intorno al torace del dinosauro. A questo punto abbiamo utilizzato un microscopio elettronico, che ci ha permesso di arrivare a migliaia d'ingrandimenti sia sulle ossa che sul sedimento, che mostravano di essere stati contaminati dalla materia rossa. Con stupore abbiamo constatato che il picco del ferro in questa zona risultava altissimo (Fig. 7c): era un dato importantissimo poiché il ferro non era presente in nessuna altra parte del dinosauro e nemmeno in tutto il sedimento che circonda il fossile. Questo vuol dire che il ferro non è penetrato nella carcassa dell'animale dall'esterno ma è di origine endogena, cioè viene dal corpo dell'animale, quasi certamente dal fegato, dal cuore e dalla milza, che sono organi emopoietici: producono molti globuli rossi, e quindi molta emoglobina. In sostanza il ferro che osserviamo in *Scipionyx* deriva dalla decomposizione del sangue del dinosauro.

L'intestino (Fig. 8) è l'organo più completo, è stato possibile studiarne anche le parti funzionali e distinguerle così come nell'intestino di un vertebrato vivente. Il duodeno, per esempio, è del tutto simile per forma e posizione a quello di un canarino: è presente nella parte

destra dell'addome e anteriormente ha contatti con il fegato e con lo stomaco. Questa posizione nel fossile è stata mantenuta grazie ai mesenterici, foglietti di tessuto muscolare che probabilmente sono rimasti intatti nel dinosauro durante la sua fossilizzazione. L'intestino quindi non si è spostato più di tanto, è stato solo un poco traslato in avanti dal sacco del tuorlo che, come abbiamo detto, era probabilmente ancora presente nell'addome dell'animale.

La conservazione si rivela eccezionale anche a forti ingrandimenti. Nella sezione del duodeno di un vertebrato vivente si vedono normalmente delle pieghe circolari che si chiamano pliche, su cui emergono i villi, ovvero delle micro-escrescenze della parete intestinale che servono per favorire l'assorbimento delle sostanze nutritive. Ebbene, nel duodeno dello *Scipionyx* osserviamo perfettamente fossilizzate queste pieghe che portano i villi. In una sezione dell'intestino retto, con il microscopio elettronico abbiamo potuto vedere addirittura dei capillari ramificati (Fig. 9), e presso questi anche dei batteri fossilizzati insieme al dinosauro, che veicolati dai liquidi sono penetrati negli spazi vuoti all'interno dell'intestino dello *Scipionyx*, accelerando così il processo di fossilizzazione.

Alcuni colleghi stranieri che studiano le diverse fasi della fossilizzazione chiamano questo processo *microbial microfabric*, indicando con questo nome una costruzione di cristalli che è catalizzata dalla presenza dei batteri che operano in ambiente anaerobico, cioè in assenza di ossigeno. I batteri anaerobici hanno accelerato la fossilizzazione al punto tale che la fossilizzazione è stata più veloce del decadimento della carcassa: in questo modo il piccolo dinosauro è potuto cristallizzare perfettamente, anche a livello microscopico.

La fossilizzazione più sensazionale, però, è quella che vediamo nei muscoli caudofemorali. Qui si osservano i fasci muscolari composti da cellule striate e ancora perfettamente allineate, come nel muscolo di una cavia appena morta o di un animale perfettamente congelato. Ebbene, qui c'è una tridimensionalità ancora perfetta, c'è una freschezza dei tessuti che è strabiliante. Infatti se noi ingrandiamo ancora di più alcune di queste cellule (Fig. 10) vediamo che in sezione hanno ancora una forma poligonale, osserviamo lo spazio lasciato dalla membrana che divideva una cellula dall'altra; addirittura (questo è proprio clamoroso), possiamo vedere e misurare i sarcomeri, che sono le unità funzionali della contrazione muscolare. I sarcomeri sono formati da

due proteine diverse, actina e miosina. Nello *Scipionyx* stesso si può ancora osservare una alternanza di striature a bande chiare e scure, che è determinata dalla sovrapposizione o meno di fibre di actina e miosina. Durante la contrazione muscolare queste fibre si sovrappongono l'una all'altra in tutta la loro lunghezza, come le dita di due mani che si intrecciano, sicché il muscolo si accorcia. Grazie a *Scipionyx*, abbiamo potuto vedere questo particolare anatomico in un animale che ha centodieci milioni di anni!

Altro fatto spettacolare nello *Scipionyx* è la conservazione della cheratina delle unghie. Queste fossilizzano raramente, al mondo ci sono pochissimi esemplari: due *Archaeopteryx* in Baviera e qualche dinosauro cinese. Si tratta di una sostanza che è presente anche nei nostri capelli ed unghie, e che nei dinosauri ricopriva la porzione ossea degli artigli. In *Scipionyx* la parte dorsale dell'artiglio è più scura poiché c'è una maggiore densità di cheratina, che conferiva più robustezza all'unghia in modo da afferrare le prede senza spezzarsi.

Come è stato possibile questo incredibile processo naturale di conservazione? Si è trattato di una straordinaria concomitanza di fattori fisici, chimici e ambientali. Dobbiamo immaginare il giacimento di Pietrarroja, che oggi vediamo come una distesa di roccia calcarea, come un mare poco profondo con acque calme, molto simile a quello che oggi vediamo nelle Isole Bahamas. Il dinosauro era molto piccolo ed anche per questo, dopo la morte, è stato facilmente e rapidamente ricoperto da un fango calcareo finissimo nel momento in cui è stato trasportato all'interno di questo bacino. La sua carcassa è stata seppellita immediatamente all'interno di uno strato spesso diverse decine di centimetri, conservando per un certo periodo di tempo una tridimensionalità perfetta. Successivamente questo strato di sedimentazione, a causa della pressione degli altri strati che si sovrapponevano sopra di lui, ha cominciato un processo di diagenesi, compattandosi e disidratandosi, il che ha comportato una lenta deformazione plastica – non traumatica – del fossile, fino a farlo diventare spesso pochi millimetri.

Abbiamo studiato in dettaglio anche il sedimento che ricopriva il dinosauro. Infatti sapevamo che lo scopritore del fossile aveva completato la lastra con parti che non appartenevano allo strato originario, al fine di dargli robustezza e avere un contorno più gradevole alla vista. Questi incollaggi sono stati ben evidenziati e studiati in luce ultravioletta.

letta e hanno costituito la premessa per lo studio del vero sedimento che inglobava lo *Scipionyx*. Analizzando al microscopio elettronico le porzioni della lastra originaria abbiamo trovato fossili microscopici (spicole di spugne silicee), mentre la matrice di fondo è risultata essere micrite (microgranuli di carbonato di calcio). Le spicole di spugne si trovano tipicamente nella porzione medio-alta della sequenza stratigrafica di Pietraraja; questo ci ha consentito di ricollocare idealmente il dinosauro nel punto della serie stratigrafica da cui proveniva e perciò di confermare indiscutibilmente la provenienza del reperto dal giacimento di Pietraraja.

Lo scheletro di *Scipionyx* in grandissima parte è costituito da fosfati, che invece non sono presenti nel sedimento inglobante. Ciò indica che i fosfati che vediamo nel dinosauro fossilizzato provengono dalla carcassa dell'animale e non dal sedimento. Questa particolarità ci fa ipotizzare che l'ambiente marino di Pietraraja fosse meno "chiuso" rispetto ad altri giacimenti, come Solnhofen ed Eichstaett, dove invece i fosfati sedimentavano per accumulo di carcasse in decomposizione e per effetto dell'eutrofizzazione, che compariva perché in questa laguna c'era meno ricambio d'acqua con il mare aperto. Quindi l'assenza di fosfati nel sedimento inglobante lo *Scipionyx* sarebbe un'ulteriore prova che la paleogeografia dell'Italia mesozoica fosse caratterizzata da un arcipelago di piccole isole, in alcuni momenti tra loro collegate. Queste terre emerse dividevano la Tetide Alpina da un altro bacino marino, che corrisponde all'attuale Mar Ionio. La paleogeografia d'Italia è molto complessa perché caratterizzata da un forte dinamismo nel tempo. Resta comunque il fatto che la scoperta di un dinosauro a Pietraraja ha dato un forte impulso ai geologi, nel far loro ridescrivere in parte l'Italia mesozoica.

Ma le sorprese non finiscono qui. Negli studi condotti sullo scheletro di *Scipionyx*, ad un certo punto ci siamo accorti che nel torace c'erano delle ossa "in più", che non appartenevano evidentemente al dinosauro: eravamo in presenza dei resti delle sue prede, che si erano conservate esattamente nella posizione in cui erano quando l'animale è morto. In paleontologia è un caso rarissimo poter ricostruire cronologicamente la dieta di un animale. Con *Scipionyx* siamo arrivati a capire cosa avesse mangiato per primo, per secondo, per terzo, per quarto e per quinto pasto. Studiare questi ammassi di ossa è stata una vera sfida perché erano piccolissime e malgrado le difficoltà,

confrontandole con molti altri fossili abbiamo capito che alcune ossa appartenevano alla caviglia di un rettile lepidosauro (una specie di lucertola), la cui forma è compatibile con l'anatomia di *Chometokadmon fitzingeri* (13), scoperto proprio a Pietraroja quasi due secoli fa. Si trattava di animali velocissimi, che facilmente sfuggivano ad un piccolo *Scipionyx*, e che erano grandi almeno quanto lui (Fig. 11). Ciò indica che il nostro dinosauro riceveva ancora le cure parentali, cioè era nutrito dai genitori. Nell'ultimo tratto dell'intestino sono ammassate numerose scaglie lucide, con forma sub-rettagonolare, che abbiamo analizzato al microscopio elettronico scoprendo una struttura lamellare priva di cellule, tipica delle scaglie dei pesci teleostei. Ma non ci siamo fermati qui. Abbiamo contato gli anelli di accrescimento delle scaglie, risalendo così all'età di questo pesce: quando è stato predato aveva circa nove anni. Sempre nell'intestino, ma in altri punti, sono presenti resti della pelle di un rettile e di un pesce molto più piccolo. Studiare la dieta di *Scipionyx* ha sfatato la semplificazione del concetto di dinosauro carnivoro. Fossili ben conservati come il nostro mostrano infatti che i teropodi potevano cibarsi di prede molto diverse: erano animali opportunisti, così come lo sono oggi le iene, gli sciacalli e i leoni.

*Scipionyx* è una finestra incredibile su un momento lontanissimo del passato geologico d'Italia. Tuttavia, nonostante la sua eccezionale fossilizzazione, una cosa non ha conservato: la propria pelle. Questo, probabilmente, a causa di un particolare chimismo del giacimento di Pietraroja, che invece ha consentito la fossilizzazione degli organi interni. È una importante differenza con i famosi giacimenti cinesi, dove invece i dinosauri conservano molto bene la pelle e altre strutture tegumentarie, ma non gli organi interni. Tra i dinosauri cinesi c'è un "cugino" di *Scipionyx* che si chiama *Sinosauropteryx* (14), nome che vuol dire "rettile piumato della Cina". Scoperto nel 1996 fu il primo dinosauro al mondo che mostrava sulla pelle degli strani filamenti nerastri indicanti la presenza di una cresta piumata. Sono piume molto primitive non ramificate, che indicano che ad un certo punto dell'evoluzione alcuni dinosauri carnivori hanno avuto il bisogno di una copertura isolante, a riprova che questi animali che noi ancora oggi erroneamente chiamiamo "rettili" avevano già sviluppato il sangue caldo, cioè erano già omeotermi. A che sarebbero servite le penne, infatti, in un corpo che poteva riscaldarsi al sole. Questi dinosauri inol-

tre si stavano avviando progressivamente a diventare animali capaci di volo attivo: gli uccelli. Ecco il motivo per cui abbiamo cambiato anche l'aspetto del nostro *Scipionyx*, che per analogia con i suoi parenti cinesi era quasi sicuramente rivestito di protopiume, e non solo di squame (Fig. 12).

Che ci fosse una parentela tra rettili ed uccelli lo si era già capito dalla metà dell'ottocento, quando venne scoperto in Baviera il primo esemplare di *Archaeopteryx*. All'epoca si disse che era un anello di congiunzione tra rettili ed uccelli, perché mostrava delle penne ma nello scheletro aveva ancora molte caratteristiche da rettile. Ma soltanto negli ultimi anni si è capito che *Archaeopteryx* in realtà non era un rettile "generico" ma anch'esso un dinosauro, un dinosauro piumato che aveva già imparato a volare in quanto già provvisto di ali. Cioè di arti anteriori molto allungati e ricoperti di penne remiganti, asimmetriche ed allungate, proprio come le penne di un uccello moderno. Però c'è ancora una coda ossea, lunga come la coda di certi dinosauri carnivori, quindi questo animale è proprio una via di mezzo o, come si diceva un tempo, un "anello di congiunzione".

Ritrovamenti recenti, effettuati non solo in Cina ma anche in Mongolia, ci hanno fatto capire che alcuni dinosauri carnivori avevano anche un comportamento da uccelli. Per esempio, un dinosauro scoperto negli anni venti del secolo scorso fu chiamato ingiustamente *Oviraptor* (predatore di uova) perché si pensava che avesse mangiato le uova che si erano fossilizzate insieme a lui. In realtà, da un successivo ritrovamento che avvenne solo nel 1994 si è capito che quelle uova erano sempre accanto e sotto ai fossili di *Oviraptor* perché questi individui le stavano covando. Quindi non c'è stato nome più sbagliato: erano madri premurose che avevano sacrificato la propria vita per proteggere la covata da una tempesta di sabbia, che avrebbe ucciso loro e le uova nei nidi sotto di loro.

Nell'eccezionale giacimento cinese di Liaoning è stato ritrovato un lontano parente dei velociraptor. Si tratta di un troodontide rannicchiato su se stesso nella tipica postura che assumono gli uccelli quando dormono: la testa è ripiegata all'indietro e infilata sotto le ossa di un arto anteriore, cioè sotto l'ala.

Prima della scoperta di *Scipionyx*, un altro importante dato che ha fatto capire quanto stretta sia la parentela tra dinosauri carnivori ed uccelli è emerso nel 2008 grazie a Paul Sereno, un paleontologo di

Chicago che ha descritto lo scheletro di un grande dinosauro carnivoro che mostra ossa cave, come quelle degli uccelli. Anche in quelle di *Scipionyx* si vedono dei pori pneumatici, cioè piccole aperture che inducono a pensare che le ossa dei dinosauri teropodi fossero invase da diverticoli delle sacche aeree. Queste ultime sono presenti nella cavità viscerale degli uccelli e servono a favorire la ventilazione dei polmoni e migliorare la respirazione. Diversamente da quanto asseriva una pubblicazione ad opera di un gruppo di fisiologi dell'Università dell'Oregon, che nel 1999 si recarono a Salerno per studiare in soli tre giorni *Scipionyx*. Essi descrissero l'enorme macchia rossa, di cui abbiamo già parlato, come il margine anteriore del fegato, e ne dedussero che doveva essere talmente grande da dividere completamente la cavità addominale in due parti, rendendo *Scipionyx* più simile ad un coccodrillo che ad un uccello.

I mammiferi respirano grazie ad un diaframma muscolare ed alla ventilazione costale. Anche noi, dilatando e comprimendo il torace, facciamo entrare ed uscire l'aria dai polmoni. Quasi lo stesso avviene nei coccodrilli, che però, non avendo un diaframma muscolare, comprimono e dilatano i polmoni tramite il fegato: lo fanno muovere avanti e dietro nella direzione dei polmoni, come se fosse un pistone. I fisiologi dell'Università dell'Oregon credevano di aver trovato in *Scipionyx*, oltre ad un enorme fegato, anche le tracce dei muscoli che lo avrebbero fatto muovere, quindi ritenevano che l'animale avesse avuto un tipo di respirazione simile a quello dei coccodrilli, che si chiama "pistone epatico". In questo modo avrebbero demolito la teoria dell'evoluzione degli uccelli dai dinosauri. In realtà ciò che essi ritenevano essere muscoli diaframmatici era un nodulo di calcite. Consapevoli dell'importanza di questa diversa interpretazione abbiamo voluto esaminare al microscopio elettronico questa zona del fossile, per vedere se si trattava o meno di resti organici, ed abbiamo accertato la presenza di una massa amorfa di carbonato di calcio: per nulla compatibile con la struttura che hanno le altre fibre muscolari di *Scipionyx*. Questo vuol dire che i dinosauri non avevano muscoli diaframmatici sviluppati come nei coccodrilli o nei mammiferi. Ecco quindi perché lo studio di *Scipionyx* risulta importantissimo, in quanto rafforza anche la connessione esistente a livello evolutivo tra dinosauri ed uccelli.

In conclusione: abbiamo visto che ci sono dei preadattamenti (o meglio, "exaptations") nella struttura anatomica dei dinosauri carnivori

che anticipano quella degli uccelli; alcuni avevano piume e penne, altri avevano anche un comportamento simile. Ma soprattutto, i teropodi possedevano sacche aeree e, diversamente dai coccodrilli, erano privi di pistone epatico (15). Da un punto di vista filogenetico gli uccelli sono dinosauri che hanno messo le penne ed hanno imparato a volare. Questo apre una serie di scenari prima impensabili, tra cui il fatto che avendo le penne i dinosauri potevano usarle in modo molteplice, così come fanno gli uccelli, anche per il corteggiamento e per il riconoscimento a distanza. È recente la notizia del ritrovamento di altri dinosauri pennuti con pigmenti fossilizzati, che conferma l'ipotesi che questi animali potessero avere penne vivacemente colorate proprio come gli uccelli. *Scipionyx* è tutto questo: un dinosauro che, grazie ad una eccezionale conservazione, ci permette di approfondire in modo precedentemente inimmaginabile l'anatomia comparata tra dinosauri, uccelli e altri vertebrati estinti ed attuali. Pertanto, dopo il primo studio condotto nella seconda metà degli anni novanta, e dopo quello ancora più approfondito ultimato nel 2011 con l'ausilio di mezzi di indagine più moderni, abbiamo molti motivi per essere orgogliosi di questo piccolo-grande dinosauro.