

MARCO FERRAGUTI

Spermatozoi ed evoluzione

Tutti noi sappiamo che ogni oggetto biologico, o addirittura ogni carattere, risponde a due diverse "pressioni": la storia passata della linea filogenetica, che "condiziona" la sua struttura generale (un tetrapode ha quattro zampe, un insetto ne ha sei, anche se magari potrebbe essere "utile" averne di più), e l'adattamento, cioè il fatto

che ogni carattere deve consentire (favore?) la "vita quotidiana" di chi lo manifesta (se voglio volare debbo avere qualcosa come le ali). Come si manifestano queste due forze sugli spermatozoi?

Su qualunque libro di Scienze si trova qualcosa sugli spermatozoi. Magari dove si parla della riproduzione sessuale, e lì (quando va bene) si trovano definizioni del genere "Gamete maschile delle specie animali che attuano la riproduzione sessuata. Lo spermatozoo è cioè una cellula che contiene un numero di cromosomi pari alla metà del numero tipico della specie, e che si forma negli organi sessuali maschili (gonadi), che prendono il nome di testicoli". Poi naturalmente si trova menzione degli spermatozoi nel capitolo dedicato alla riproduzione umana, con il canonico disegno della piccola cellula a forma di girino. Tutto giusto. Ma ci sono milioni di specie di animali: i loro spermatozoi sono tutti uguali? In particolare: assomigliano tutti a quel trito disegno dello spermatozoo umano che si trova sui libri?

Basta un'occhiata alle due immagini che riporto (Figure 1 e 2) per convincersi che non è così: vi è una infinita varietà di forme (e di movimento!) di spermatozoi. C'è stata tutta una corren-

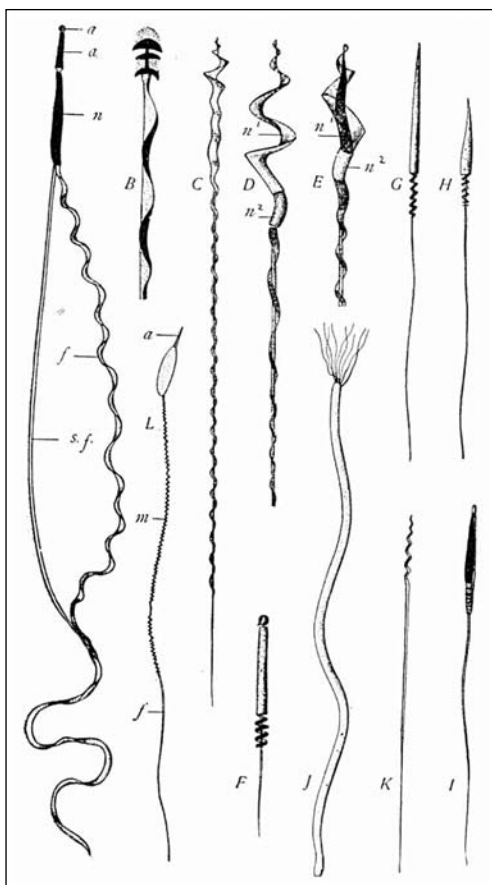


Fig. 1 - Modelli di spermatozoi appartenenti a specie di diversi gruppi animali. A-B, insetti; C-H uccelli; J-K due tipi diversi di spermatozoi prodotti dalla stessa specie, il mollusco *Paludina*; L Un serpente, *Coluber* (da Wilson *The cell in Development and Inheritance*, 1906).

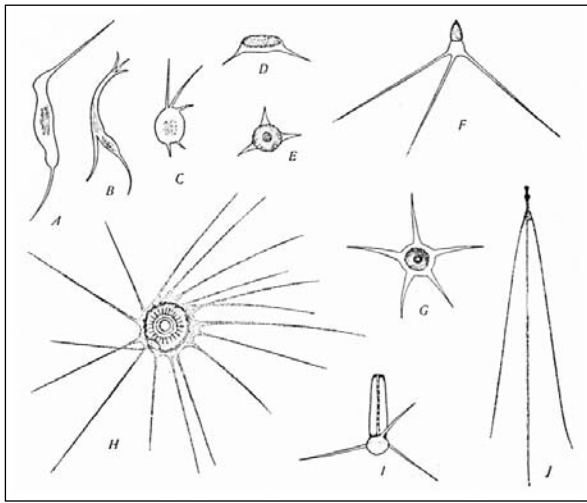


Fig. 2 - Modelli di spermatozoi di specie diverse di crostacei. (da Wilson *The cell in Development and Inheritance*, 1906).

te di studio che si è occupata di “spermatologia comparata”, una disciplina affascinante che contiene un sacco di spunti interessanti per capire l’evoluzione. Cominciamo con un po’ di storia: si potrebbe cominciare con menzionare R. A. von Kölliker, (1817-1905), anatomista svizzero-tedesco, che nella sua tesi, scritta nel periodo nel quale si discuteva sulla generalizzazione della teoria cellulare, identificò definitivamente come cellule, originate da cellule, gli spermatozoi di 45 specie diverse di 6 phyla (!), osservando che gli spermatozoi

sono molto simili all’interno di ogni genere, ma ogni specie produce spermatozoi che le sono caratteristici. Lo svedese Gustav Retzius (1842-1919), un uomo dotato di non comuni mezzi economici, studiò, a partire dal 1904, gli spermatozoi di 373 specie (metà di vertebrati) appartenenti a 15 phyla diversi (!), e, naturalmente, dati i tempi, senza preoccuparsi granché della rarità delle specie studiate, dissezionò echidna, gibboni, salamandre giganti del Giappone... Egli arrivò a definire un modello di spermatozoo che definì *primitivo*, caratterizzante, a suo dire, gli animali “primitivi”: nucleo corto e tondo, pezzo intermedio breve con 4-5 mitocondri, lungo flagello. Lo zoologo svedese Åke Franzén (1925) ha studiato (per la sua Tesi!) spermatozoi e spermiogenesi in 240 specie di “invertebrati” marini ed ha concluso che lo spermatozoo che Retzius definì primitivo è conservato nelle specie che hanno mantenuto il modo primitivo di fecondazione, cioè nell’acqua, quindi... la morfologia dello spermatozoo dei metazoi si correla meglio con la biologia riproduttiva che con la filogenesi.

Si vede subito che lo studio comparato degli spermatozoi cozza con gli stessi problemi dell’Anatomia Comparata. Infatti, è abbastanza intuitivo che le specie più “primitive” all’interno di ogni (o quasi) phylum sono acquatiche, e moltissime praticano la fecondazione esterna. Dunque: lo spermatozoo a testa tonda, con acrosoma semplice, 4-5 mitocondri e un lungo flagello semplice, è tale perché deve nuotare e fecondare nell’acqua, o perché è prodotto da animali “primitivi”? da quanto ho detto più sopra la risposta più ovvia è: tutt’e due. Ma che succede quando, nel corso dell’evoluzione di una linea filetica, le modalità di fecondazione si specializzano e c’è la tendenza ad “inventare” metodi sofisticati di incontro dei gameti, per massimizzare la riproduzione? È abbastanza evidente che le invenzioni di strutture che migliorino la fecondazione sono state molteplici ed indipendenti in ciascuna linea. Un esempio sono le “spermatofore” (ammassi di spermatozoi spesso avvolti da un involucro), che sono state spesso una “tappa intermedia” verso l’acquisizione della fecondazione interna vera e propria. Le spermatofore hanno le forme più svariate, possono diventare enormi, tanto da essere inserite una ad una nel corpo della femmina, come nei cefalopodi, dove furono scam-

biate per vermi parassiti nientemeno che da Cuvier; possono essere deposte sul corpo del partner dove “iniettano” gli spermatozoi attraverso la pelle, come nelle sanguisughe o nei rotiferi seisonidei; possono consistere in ammassi sferici ricoperti, posti su uno stelo, verso i quali i maschi spingono le femmine... Un altro sistema per migliorare l'efficienza dell'incontro fra gameti, in particolare fuori dall'acqua, è quello inventato dagli anellini oligocheti, che sono ermafroditi, nella forma di un involuoco chiuso, detto *cocoon*, che viene secreto dall'animale, nel quale l'animale depone le sue uova e gli spermatozoi ricevuti dal partner, e all'interno del quale, in ambiente protetto, avviene la fecondazione. Un altro anellide marino, il polichete *Ophryotrocha puerilis*, è invece a sessi separati, e la femmina depone un piccolo tubo fatto di uova, all'interno del quale passa il maschio e depone direttamente sopra le uova gli spermatozoi, afflagellati ed immobili. Si potrebbe continuare con molti esempi ad illustrare questa fase della storia che ha a che fare con il miglioramento dell'efficacia della fecondazione; ne ho forniti solo alcuni giusto per dire una cosa importante: la fecondazione interna, come la conosciamo noi, è stata un'invenzione difficile, che ha richiesto numerosissimi tentativi, e che è stata perfezionata al massimo, ovviamente gli spermatozoi non possono vivere all'aria, nei tre gruppi che hanno più saldamente e con maggior successo, conquistato la terraferma: gli artropodi, i molluschi e i cordati.

L'acquisizione della fecondazione interna è stata accompagnata da una radicale ristrutturazione dello spermatozoo in ognuno dei gruppi che l'hanno acquisita: la forma è diventata allungata, come quella di un filo, il nucleo si è compattato all'estremo, i mitocondri tendono a formare manicotti, e la coda, pur mantenendo l'organizzazione dell'assonema “9+2”, una delle strutture cellulari più conservate dalla vita, ha acquisito strutture accessorie con probabile funzione di irrobustimento e di protezione. Interessante notare che le strutture accessorie, diverse chimicamente nei vari gruppi, hanno spesso una simmetria simile, offrendoci un caso interessante di convergenza. Naturalmente le linee di modifica che ho esposto, che si potrebbero riassumere come una maggiore idrodinamicità, sono molto generiche, e trovano, appunto, realizzazioni così diverse nei vari gruppi, che è facile ad un occhio esperto riconoscere il gruppo di appartenenza dalla semplice osservazione di alcune sezioni al microscopio elettronico.

Si potrebbe pensare che ciò che ho detto fin qui sia una specie di “divertimento” per zoologi un po' maniaci, ma in realtà lo studio degli spermatozoi negli ultimi anni ha generato delle linee di ricerca nuove e affascinanti. Un solo esempio: sappiamo che gli spermatozoi sono, in genere, cellule piccolissime e molto numerose, un numero assolutamente sproporzionato a quello dei figli prodotti: “La popolazione maschile mondiale copula, nel complesso, circa 50 miliardi di volte l'anno, producendo più o meno un milione di litri di sperma al giorno [...]. 200.000 miliardi di spermatozoi fruttano cinque nascite al secondo. Molto più esiguo il contributo delle donne, con 400 ovuli a ogni battito d'orologio.” (S. Jones *Cromosoma Y*, Orme Editori, 2007, p. 11). È lecito chiedersi il perché di questo numero così spropositatamente più elevato del compito. È stato proposto, con buone ragioni, che, in un regime di promiscuità sessuale, se la produzione di spermatozoi è, come è ragionevole immaginare, un carattere variabile in una popolazione, i maschi che producono più spermatozoi e più vitali diverranno i genitori del maggior numero di figli, trasmettendo così il carattere. Ma gli individui che producono molti spermatozoi avranno anche i testicoli più grandi. In alcune linee evolutive, il meccanismo prosegue fino a limiti imposti dalla soprav-



Fig. 3 - Il pene "armato" del coleottero *Callosobruchus maculatus* (<http://scienceblogs.com/>).

viene lasciato dopo la copula per impedire copule successive, come in certi topi, addirittura ad un pene "armato" di tremendi uncini, che devasta i genitali della femmina, la quale ovviamente non si accoppierà più (nel tonchio maculato, un coleottero), fino ad un vero armamentario, che è stato paragonato ad un coltellino svizzero, per estrarre i tappi depositi dal maschio precedente, liberare la femmina dagli spermatozoi dei concorrenti e deporre i propri, come nelle libellule.

vivenza quotidiana. Fantascienza? No: fra i primati, ad esempio, è facile correlare il regime riproduttivo alla taglia dei testicoli: i nostri cugini (fratelli?) bonobo, promiscui per definizione, hanno la taglia relativa dei testicoli più elevata, mentre i gorilla, con il loro regime "monogamico" (un maschio dominante con poche femmine) sono quelli che l'hanno più piccola. Dunque, esiste una relazione fra spermatozoi, comportamento e strategie riproduttive.

Negli ultimi anni è apparso sempre più chiaro che la monogamia fra gli animali è un fenomeno piuttosto raro, anche fra quelli che si supponeva la praticassero, al punto che oggi si parla di "monogamia sociale". È facile immaginare delle ragioni per la poligamia maschile, basta pensare all'investimento limitato per produrre uno spermatozoo, confrontato con quello, ben più gravoso, per produrre un uovo, ma perché una femmina, il cui numero di uova è, per ovvi motivi, più limitato, dovrebbe andare in cerca di quelle che con un termine asettico vengono chiamate *extra pair copulations* (e.c.p.)? Evidentemente per accaparrarsi gli spermatozoi dei maschi migliori, e generare figli migliori, che a loro volta produrranno un sacco di nipoti. Ma naturalmente anche i maschi sono soggetti a selezione, perciò molte specie hanno "inventato" dei sistemi per liberarsi degli spermatozoi dei concorrenti, che vanno da un "tappo" che

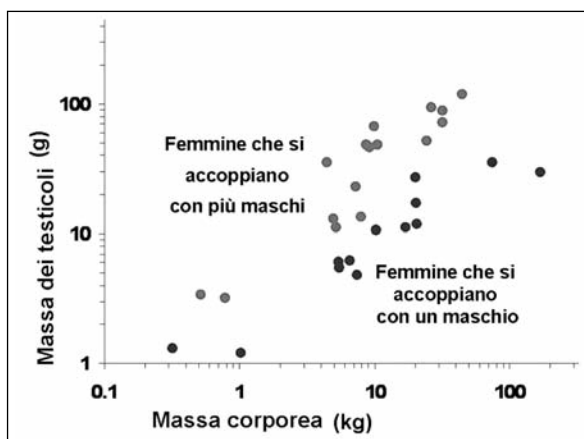


Fig. 4 - La relazione fra taglia relativa dei testicoli e massa corporea in diversi primati mostra che le specie monogame hanno testicoli più piccoli di quelle poligame. (da: Harcourt *et al Nature*, 293, 55, 1981).