



UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI MEDICINA E CHIRURGIA

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
PSICOBIOLOGIA E NEUROSCIENZE COGNITIVE**

**UN APPROCCIO EVOLUZIONISTICO
ALLO STUDIO DELLE DIFFERENZE SESSUALI
NELLE ABILITÀ VISUO-SPAZIALI**

Relatore

Chiar.mo Prof. DAVIDE PONZI

Correlatore

Chiar.mo Prof. PAOLA PALANZA

Laureanda
CARMEN ONETO

Indice

Abstract.....	4
Capitolo 1 <u>EVOLUZIONE E VULNERABILITÀ: IL RUOLO DELLE DIFFERENZE SESSUALI</u>	6
1.1 <i>L'evoluzione per selezione naturale</i>	6
1.2 <i>La teoria dell'evoluzione per selezione sessuale</i>	7
1.3 <i>I meccanismi psicologici adattativi e le differenze sessuali</i>	9
1.4 <i>Le differenze sessuali per comprendere le vulnerabilità di genere</i>	10
1.5 <i>Il dimorfismo nello sviluppo dei caratteri sessuali secondari</i>	16
1.5.1 <i>Il dimorfismo sessuale e l'ipotesi dell'handicap fisso</i>	18
1.5.2 <i>L'ipotesi dell'handicap dell'immunocompetenza</i>	19
1.5.3 <i>La funzione mitocondriale</i>	20
1.6 <i>Gli effetti dello stress sui tratti sessualmente dimorfici</i>	23
Capitolo 2 <u>LE DIFFERENZE SESSUALI IN AMBITO COGNITIVO: LA NAVIGAZIONE VISUO-SPAZIALE</u>	28
2.1 <i>Il concetto di abilità visuo-spaziale</i>	28
2.2 <i>Le differenze sessuali nelle abilità visuo-spaziali</i>	30
2.3 <i>Le differenze nella cognizione spaziale: verso una prospettiva evolucionistica</i>	39
2.3.1 <i>La Foraging Hypothesis e la memoria per la localizzazione spaziale</i>	40
2.3.2 <i>La Hunter-Gather Theory: suddivisione del lavoro e navigazione spaziale</i>	43
2.4 <i>L'influenza dello stress sulla cognizione spaziale</i>	46
2.4.1 <i>Il dimorfismo sessuale nelle abilità spaziali e gli effetti ormonali</i>	51
2.4.2 <i>Le strategie adattative sesso-specifiche e l'apprendimento</i>	54
CAPITOLO 3 <u>LA MISURAZIONE DELLE ABILITÀ SPAZIALI PER INDAGARE LE DIFFERENZE SESSUALI</u>	56
3.1 <i>La misurazione della cognizione spaziale</i>	56
3.1.1 <i>Lo Spatial Orientation Test</i>	57
3.1.2 <i>Il Mental Rotation Test</i>	64
3.2 <i>L'influenza degli effetti ormonali sulle misurazioni delle abilità visuo-spaziali</i>	74
3.3 <i>Differenze sessuali nella navigazione spaziale: interferenza articolatoria e spaziale</i>	81
Capitolo 4 <u>IL PRESENTE STUDIO SPERIMENTALE: PROCEDURA E METODOLOGIA</u>	85
4.1 <i>Metodi</i>	85

4.1.1 Partecipanti	86
4.2 Materiali.....	87
4.2.1 Mental Rotation Test.....	88
4.2.2 Spatial Orientation Test	91
4.3 Procedura sperimentale	93
Capitolo 5 EFFETTI DEL LOAD COGNITIVO SULLE DIFFERENZE SESSUALI NELLE ABILITÀ VISUO-SPAZIALI	98
5.1 Ipotesi dello studio	98
5.2 Procedura sperimentale	99
5.2.1 Partecipanti	100
5.3 Risultati	100
5.4 Discussione	105
5.5 Conclusioni	108
Capitolo 6 EFFETTI SULLE DONNE DELLE FASI DEL CICLO MESTRUALE E DEI CONTRACCETTIVI ORALI NEL MENTAL ROTATION TEST.....	109
6.1 Ipotesi dello studio	109
6.2 Procedure e metodi	110
6.2.1 Partecipanti	111
6.3 Analisi dei risultati	111
6.4 Discussione	113
6.5 Conclusioni	114
Capitolo 7 EFFETTI DELLO SFORZO FISICO SULLE DIFFERENZE SESSUALI NEL MENTAL ROTATION TEST: UNO STUDIO PILOTA.....	116
7.1 Lo sforzo fisico nella variabilità delle differenze sessuali nella navigazione sociale	116
7.2 Ipotesi di studio	117
7.3 Materiali e metodi	118
7.3.1 Partecipanti	118
7.3.2 Procedura sperimentale	118
7.4 Analisi dei risultati	119
7.5 Discussione	121
7.6 Conclusioni	122
CONCLUSIONI.....	124
BIBLIOGRAFIA.....	126

ABSTRACT

Il tema affrontato in questa tesi riguarda le differenze sessuali nelle abilità visuo-spaziali. Diverse metanalisi suggeriscono che gli uomini hanno prestazioni migliori delle donne per quanto riguarda tali abilità. In base alla teoria della selezione sessuale, le differenze sessuali legate alle abilità visuo-spaziali riflettono adattamenti che nell'arco della storia evolutiva della nostra specie hanno permesso ai nostri antenati di risolvere problemi adattativi genere-specifici. Un aspetto chiave di ogni adattamento selezionato sessualmente è che i suoi ovvi vantaggi sottendono notevoli costi: benché un adattamento sia condiviso ed espresso da tutti gli individui di un determinato sesso, la qualità della performance del tratto mostra una marcata variabilità interindividuale. Tuttavia, tale variabilità è evidente solo quando l'organismo affronta condizioni di stress, o meglio, quando il sistema che sottende una particolare performance sessualmente selezionata viene stressato e gli elevati costi metabolici necessari per sostenere la performance del tratto entrano in conflitto con i costi metabolici necessari per il mantenimento di altri tratti. Infatti, questo meccanismo di compromesso tra diversi sistemi organici è alla base del concetto di vulnerabilità sesso-specifica.

Il presente studio vuole indagare le vulnerabilità sesso specifiche in merito alle abilità visuo-spaziali, cioè in quali condizioni queste performance si riducono, soprattutto per gli individui dello stesso genere. L'obiettivo della ricerca sperimentale è, inoltre, quello di comprendere le strategie cognitive dipendenti dal sesso biologico di un individuo e che potrebbero essere alla base delle differenze sessuali osservate in diversi ambiti delle scienze cognitive.

ABSTRACT

The topic addressed in this thesis concerns the sexual differences in visuo-spatial abilities. Several meta-analyses suggest that men perform better than women in such abilities. According to the theory of sexual selection, sexual differences related to visuo-spatial abilities reflect adaptations that allowed our ancestors to solve gender-specific adaptive problems throughout the evolutionary history of our species. A key aspect of any sexually selected adaptation is that these obvious advantages entail significant costs: although an adaptation is shared and expressed by all individuals of a certain sex, the quality of the trait's performance shows marked inter-individual variability. However, such variability is only evident when the organism faces conditions of stress, or rather, when the system underlying a particular sexually selected performance is stressed and the high metabolic costs necessary to sustain the trait's performance conflict with the metabolic costs necessary to maintain other traits. In fact, this mechanism of compromise between different organic systems is at the basis of the concept of sex-specific vulnerability. The present study aims to investigate sex-specific vulnerabilities regarding visuo-spatial abilities, namely under which conditions these performances are reduced, especially for individuals of the same gender. Furthermore, the purpose of the experimental research is to understand the cognitive strategies dependent on an individual's biological sex that could underlie the observed sexual differences in various fields of cognitive sciences.

Capitolo 1

EVOLUZIONE E VULNERABILITÀ: IL RUOLO DELLE DIFFERENZE SESSUALI

1.1 L'evoluzione per selezione naturale

L'evoluzione è un cambiamento nel tempo. Il *Saggio sui Principi della Popolazione* di Thomas Malthus (1798) introduce un concetto che è alla base dell'elaborazione della teoria dell'evoluzione delle specie di Charles Darwin (1859). Malthus (1798) osserva che le popolazioni hanno la capacità di accrescersi in modo esponenziale e di esaurire le risorse alimentari, le quali possono aumentare solo in modo lineare. Nel caso degli esseri umani, Malthus (1798) sostiene che il conflitto tra la crescita della popolazione e la disponibilità alimentare generi fame, malattie e guerre, le quali costituirebbero un freno per la crescita delle popolazioni stesse. Partendo da questa idea, Darwin (1859) formula il concetto di lotta per l'esistenza e con l'osservazione delle abitudini di piante e animali deduce che in questa lotta le variazioni favorevoli tendono ad essere conservate, mentre quelle non favorevoli vengono eliminate. Il risultato di questo processo è definito adattamento all'ambiente, inteso come una modificazione evolutiva che aumenta le probabilità di sopravvivenza (Darwin, 1859).

Questo formidabile meccanismo dell'evoluzione viene definito selezione naturale e stabilisce che gli organismi meglio adattati hanno maggiori probabilità di sopravvivere e dare origine alla generazione successiva. La conseguente variazione di fenotipi adattati nella popolazione, se ereditabile, nel tempo determina l'aumento della

frequenza dei caratteri favorevoli nelle generazioni successive, mentre i caratteri svantaggiosi diventano scarsi o scompaiono. Gli elementi fondamentali della teoria della selezione naturale sono, quindi, la limitatezza delle risorse, la variazione fenotipica, l'ereditarietà dei fenotipi e la selezione. Il concetto di riproduzione porta alla definizione della successiva teoria della selezione sessuale, tramite la quale agisce la selezione naturale (Solomon et al., 2017).

1.2 La teoria dell'evoluzione per selezione sessuale

La selezione sessuale non dipende dalla lotta per l'esistenza contro altri esseri viventi o contro le condizioni esterne, ma dalla lotta degli individui della stessa specie e dello stesso sesso, generalmente maschi, per il possesso delle risorse necessarie per riprodursi (Darwin, 1859). Darwin (1859) osserva attentamente le specie animali dove è più evidente una differenza nelle caratteristiche fisiche tra i due sessi. A questo proposito, se organismi delle stesse specie sono posti di fronte alle stesse sfide per la sopravvivenza e si è in presenza di un dimorfismo sessuale, il concetto di sopravvivenza da solo non spiegherebbe tale dimorfismo. Inoltre, il mantenimento di tratti dimorfici, ed in particolare di quelli più evidenti, comporta dei costi per chi li possiede. Come, per esempio, un maggiore rischio di predazione oppure un costo metabolico elevato, in entrambi i casi, effetti che riducono la probabilità di sopravvivenza. La selezione sessuale agisce tramite competizione intrasessuale e intersessuale. La competizione tra membri dello stesso sesso ha come esito il successo nell'accoppiamento con il sesso opposto e le caratteristiche che hanno determinato il successo riproduttivo del vincitore verranno trasmesse alla generazione successiva.

La selezione sessuale opera anche attraverso selezione intersessuale, ossia la scelta preferenziale per l'accoppiamento. Se un sesso possiede determinate caratteristiche o qualità desiderate dall'altro sesso è avvantaggiato nella scelta del partner, mentre gli individui in cui questi tratti non sono presenti non riusciranno ad accoppiarsi. Questo concetto nasce dall'attenta osservazione da parte di Darwin (1871) di fenomeni non coerenti con le proprie teorie. La coda del maschio del pavone, ad esempio, è un tratto che richiede enormi costi metabolici e rappresenta, inoltre, un elemento di rischio di predazione, a causa della maggiore visibilità che essa comporta. Tuttavia, esso rappresenta un tratto sul quale la femmina basa la scelta del maschio per l'accoppiamento e, di conseguenza, questo è il motivo per cui un tratto così apparentemente svantaggioso viene mantenuto insieme ai rischi ed ai costi che ne conseguono. Questo tratto aumenta la probabilità di riproduzione che permette la trasmissione dei propri geni alla generazione successiva. Nella selezione intersessuale, quindi, il cambiamento evolutivistico avviene perché i fenotipi desiderati nel partner aumentano di frequenza ad ogni generazione, attraverso la riproduzione. Le femmine di quasi tutte le specie animali, compreso l'uomo, sono più selettive dei maschi, e per questo motivo Darwin (1871) definisce il processo di selezione intersessuale in termini di scelta femminile. Egli ipotizza, inoltre, che i due sessi subiscano una modifica tramite selezione naturale, *“in relazione a differenti abitudini di vita, come talvolta accade, oppure che un sesso sia modificato in relazione all'altro, come avviene comunemente”* (Darwin, 1859).

1.3 I meccanismi psicologici adattativi e le differenze sessuali

L'approccio evoluzionistico ha dato inizio a nuove linee di ricerca, tra cui gli studi che approfondiscono il ruolo della biologia riproduttiva umana ed il comportamento che da essa deriva. La psicologia e la biologia si integrano a vicenda nello studio dei meccanismi psicologici evolutivi. Un meccanismo psicologico evolutivo è un insieme di procedure interne all'organismo, progettato per utilizzare una particolare porzione di informazione e trasformarla attraverso regole decisionali in un output che nel tempo ha aiutato i nostri antenati alla soluzione di un problema adattativo (Buss, 2019). Ogni comportamento umano è definibile come un prodotto di un meccanismo psicologico evolutivo che si è sviluppato in ambienti che presentano una ricorrente pressione evolutiva. In altre parole, ogni comportamento in una catena di eventi richiede la combinazione di meccanismi psicologici che si sono evoluti in funzione dell'input ambientale per un lungo arco di tempo (Buss, 2019).

Gli esseri umani hanno affrontato nel corso del tempo problemi adattativi che hanno dato origine a complessi meccanismi di adattamento come sopravvivenza e crescita, riproduzione, crescita della prole e sostegno dei parenti genetici (Buss, 2019). Sia il genere maschile che quello femminile, in questo contesto, hanno sviluppato meccanismi evolutivi differenti per via dei problemi adattativi diversi che hanno dovuto affrontare. La divisione sessuale del lavoro nei nostri antenati cacciatori e raccoglitori (Tooby and DeVore, 1987) costituisce un esempio sulla base del quale si ipotizza un impegno maggiore delle donne nelle attività di raccolta, più compatibile con le gravidanze e la crescita della prole, mentre la caccia rappresentava l'attività principale per gli uomini, più coerente con la loro maggiore dimensione fisica,

soprattutto nella parte superiore del corpo che permetteva di scagliare oggetti con accuratezza e a lunghe distanze (Watson, 2001).

1.4 Le differenze sessuali per comprendere le vulnerabilità di genere

Thomas Malthus (1798) considerava fame, malattie e guerre come mezzi per porre un freno alla crescita della popolazione e per riequilibrare il rapporto tra le risorse limitate rispetto al loro fabbisogno. In una xilografia del 1498, intitolata *I Quattro Cavalieri dell'Apocalisse*, Durer rappresenta le stesse minacce indicate successivamente da Malthus (1798): malnutrizione, malattie infettive ed esposizione a stress sociali. Darwin (1859) aveva osservato che nelle specie non umane erano presenti delle differenze sessuali per quanto riguarda la vulnerabilità alle minacce indicate da Durer e Malthus e che queste potevano essere comprese alla luce della selezione sessuale – la competizione per l'accoppiamento e la scelta per l'accoppiamento – e di condizioni di sviluppo ed espressione di quei tratti che facilitavano la competizione e l'accoppiamento. La presenza di caratteristiche più marcate ed elaborate in un sesso piuttosto che in un altro, se risultanti dalla selezione sessuale, costituiscono tratti condizione-dipendente ed indicano quanto l'individuo sia esposto ed in quale misura possa reagire a un fattore di stress (Geary, 2015).

Zahavi (1975) definisce il tratto condizione-dipendente come quel tratto con un'accresciuta sensibilità che rende la sua espressione dipendente dalla condizione dell'individuo (ad esempio, lo stato di salute fisica). I tratti condizione-dipendenti riducono la capacità degli individui non idonei di ingannare nel contesto della competizione intrasessuale o imbrogliare nel contesto delle scelte del partner.

Numerosi studi evidenziano che deficit cerebrali e cognitivi sesso-specifici emergono a seguito di malnutrizione, malattie infettive e neurodegenerative, e si manifestano spesso come conseguenza dell'esposizione prenatale o postnatale a tossine. La selezione sessuale può fornire a questo riguardo un quadro unificante che integra la nostra comprensione di tali deficit e indica una direzione per studi futuri sulle vulnerabilità di genere (Geary, 2019). I tratti sessualmente selezionati sono quelli che si sono evoluti al fine di facilitare la competizione per le risorse riproduttive e che influenzano la scelta del partner. A questo proposito, la malnutrizione, le malattie, lo stress sociale cronico e l'esposizione a tossine artificiali compromettono in modo sostanziale lo sviluppo e l'espressione di tratti sessualmente selezionati rispetto ad altri tratti (Geary, 2019). Il meccanismo fondamentale alla base della vulnerabilità potrebbe essere identificato nell'efficienza della cattura dell'energia mitocondriale e nel controllo dello stress ossidativo, così come dimostrato dalla neuroenergetica e dallo studio delle malattie neurodegenerative (Bullmore and Sporns, 2012; Grimm et al., 2016), dall'endocrinologia dello stress (Picard et al., 2014) e dalla tossicologia (Caito and Aschner, 2015).

L'ipotesi di base si fonda sul fatto che l'elaborazione di dei tratti selezionati sessualmente le renda particolarmente sensibili alle interruzioni del funzionamento mitocondriale ed allo stress ossidativo, e che queste capacità cognitive umane sesso-specifiche, ed i sistemi cerebrali sottostanti, abbiano vulnerabilità sesso specifiche (Geary, 2019). Da un punto di vista evolutivo le abilità cognitive selezionate sessualmente e i sistemi cerebrali che li sottendono possono costituire una base di partenza per analizzare e comprendere le vulnerabilità sesso-specifiche (Geary, 2021). L'idea di base è che negli individui questi tratti marcati siano ampiamente espressi e

differenziati a seconda del sesso che li possiede. In seguito all'esposizione a fattori di stress, i tratti più marcati ed esagerati sono più compromessi rispetto ad altri, per cui riducono, eliminano o invertono i vantaggi tra i sessi (Geary, 2019). Infatti, se ogni sesso trae particolari vantaggi da un determinato tratto, allora quel tratto sarà maggiormente vulnerabile nel genere avvantaggiato (Geary, 2017).

La selezione sessuale rappresenta la chiave delle dinamiche sociali: la competizione tra i membri dello stesso sesso per il partner e le scelte che questi compiono, si traducono nell'evoluzione delle differenze di genere. Di conseguenza, basandoci su questo principio, le differenze nella strategia di foraggiamento o nella competizione per le risorse rappresentano il punto di partenza per lo sviluppo delle differenze sociali tra i generi (West-Eberhard, 1979). Darwin (1871) si è concentrato sullo studio dei meccanismi della competitività maschile e di scelta femminile, osservando che la competizione tra maschi è spesso più intensa di quella tra femmine e che le femmine sono generalmente più discriminanti dei maschi quando si tratta di scegliere i propri partner (Andersson, 1994). Ne deriva che i maschi hanno tratti esagerati e sessualmente selezionati rispetto alle femmine. La competizione fisica, più diffusa tra i maschi per l'accesso alle femmine ed il controllo delle risorse, è associata a tratti fisici più imponenti e comportamenti che manifestano resistenza e agilità.

Questo sistema competitivo coinvolge anche il cervello ed i sistemi cognitivi e si evolve in tratti che forniscono vantaggi competitivi con il passare del tempo (Gaulin, 1992; Jacobs, 1996). Il cervello umano può essere considerato come una macchina con alti costi di fabbricazione e mantenimento. Inoltre, la trasformazione e lo sviluppo di reti cerebrali riflettono un processo che si basa sul compromesso tra prestazioni funzionali e risparmio energetico (Bullmore and Sporns, 2012). Le reti sono

organizzate come sistemi di comunicazione neurale intramodulare locale e connessioni neurali intermodulari a lunga distanza (Power et al., 2013). Aumenti della connettività intramodulare locale e delle connessioni tra le reti locali, fisicamente vicine, supportano l'elaborazione delle informazioni (Kaas, 1982), ma aumentano i costi di costruzione e mantenimento. L'integrazione di moduli in un cervello funzionale rende i sistemi ancora più costosi. Di conseguenza più sono costosi, più sono vulnerabili (Bullmore and Sporns, 2012).

La competizione intrasessuale e la scelta intersessuale possono entrambe concorrere all'elaborazione dei tratti cognitivi selezionati sessualmente, ma molte delle differenze cognitive sono dovute più alla competizione che alla scelta e soprattutto per questa ragione risultano così marcate. Per quanto riguarda la competizione femminile, questa è espressa con forme di aggressività indiretta, cioè che richiede raramente l'uso della forza e dello scontro fisico. Invece, l'aggressività tipicamente femminile si basa sull'utilizzo del pettegolezzo come mezzo per intaccare la reputazione, sulla manipolazione delle amicizie e sull'ostracizzazione sociale di potenziali competitori (Archer and Coyne, 2005). Geary e colleghi (2014) hanno ipotizzato che le differenze nelle abilità psicologiche sociali siano determinate dall'uso relazionale che la femmina farebbe dell'aggressività per competere intrasessualmente per il controllo delle risorse. D'altro canto, lo sviluppo di questi meccanismi di difesa verso questo tipo di aggressività ha facilitato la sensibilità alla comunicazione non verbale ed alle espressioni facciali (Thompson and Voyer, 2014).

Le donne hanno anche un vantaggio, da lieve a moderato, in molti aspetti del linguaggio, soprattutto per quanto riguarda la fluenza nella produzione verbale (Anderson and Leaper, 1998). Secondo Geary (2015) le capacità cognitive universali

umane sono organizzate attorno alla psicologia popolare, intesa come organizzazione ed elaborazione delle informazioni sociali, alla biologia popolare, considerata come organizzazione ed elaborazione di informazioni su altre specie, ed alla fisica popolare, che contempla sistemi di navigazione e conoscenza degli esseri non viventi. Le donne generalmente eccellono nell'elaborazione delle informazioni sociali a livello individuale, mentre i maschi eccellono nel movimento, nella navigazione e nella rappresentazione di uno spazio su larga scala, e nell'identificazione di oggetti che si muovono all'interno di questo stesso spazio. Inoltre, per le femmine è più importante rispetto ai maschi avere abilità nella memoria episodica, nella memoria linguistica e nella memoria per i volti e le espressioni facciali. Le femmine hanno effettivamente dei vantaggi rispetto ai maschi in compiti di successivo richiamo delle informazioni sociali (Herlitz et al., 1997; Lewin et al., 2001; Pauls et al., 2013). La memoria delle donne per i volti di un'altra donna risulta essere particolarmente efficace, coerentemente con fattori quali la sensibilità relazionale, l'aggressività e la formazione di amicizie tra donne (Herlitz and Loven, 2013).

Geary (2019), in relazione alla teoria della mente (*Theory of Mind*), ipotizza che le altre abilità sociali siano collegate alla storia evuzionistica della competizione tra femmine, ma sostiene, d'altro canto, che per quanto queste abilità siano relazionate alla selezione sessuale, le esperienze sociali durante l'infanzia influenzino notevolmente le abilità sociali. Il lavoro di metanalisi di Imuta e colleghi (2016) evidenzia quanto il rapporto tra la teoria della mente e le competenze sociali dei bambini influenzi maggiormente la cognizione sociale nelle ragazze piuttosto che nei ragazzi. Gli autori sottolineano che durante l'infanzia le ragazze sono più sintonizzate con gli altri e producono atti prosociali in numero maggiore rispetto ai maschi (Imuta

et al., 2016). Per quanto riguarda l'aspetto della fisicità, questo è un fattore tipico della competizione maschile e gioca un ruolo critico nel determinare le differenze sessuali all'interno dei processi cognitivi (Geary, 2010).

Nelle specie con intensa competizione maschile, i maschi sono più grandi delle femmine, si sviluppano più lentamente e muoiono in età infantile (Andersson, 1994), come accadeva ai nostri antenati di almeno 4 milioni di anni fa (Leakey et al., 1998). Nella nostra specie le differenze fisiche si manifestano dopo l'infanzia e, sono soprattutto più marcate nella parte alta del corpo dell'uomo per la necessaria funzione del lancio di oggetti durante la lotta. Questa abilità richiede anche l'utilizzo di capacità cognitive per localizzare gli obiettivi su scala tridimensionale e tracciarne il movimento mentre si muovono nello spazio. Allo stesso modo, l'abilità di individuare a distanza gli oggetti in movimento permetteva al genere maschile di evitare di essere colpiti da altri uomini (Geary, 2019).

È ragionevolmente possibile predire che questi sistemi, deputati a sottendere tali abilità, siano ancor più vulnerabili durante i tempi del loro rapido sviluppo e massimo utilizzo. Inoltre, la conseguenza diretta di questo fenomeno si manifesta in una differenza sessuale delle vulnerabilità per i suddetti tratti in funzione dell'età dell'individuo (Geary, 2015). Pertanto, l'esposizione agli stressors, e alle malattie conseguenti, possono far estinguere i vantaggi tipicamente presenti in un sesso rispetto all'altro. In particolare, i deficit saranno maggiori rispetto alla norma e sesso-tipici per il sesso con il tratto più elaborato ed evidente. Per esempio, un'analisi sulla differenza di statura tra i sessi ha mostrato che i deficit nutrizionali durante l'adolescenza compromettono la crescita di entrambi i sessi. Tuttavia, il divario tra l'altezza dei

ragazzi con crescita compromessa rispetto a quella dei ragazzi con crescita nella norma è maggiore rispetto al medesimo divario tra le ragazze (Geary, 2016).

1.5 Il dimorfismo nello sviluppo dei caratteri sessuali secondari

Il dimorfismo sessuale si riferisce alle differenze nei tratti morfologici e comportamentali, con particolare enfasi sui tratti che si ipotizza si siano evoluti per selezione sessuale (Crook, 1972). Inoltre, i tratti, che definiremo anche come caratteri sessuali secondari, sono fondamentalmente coinvolti nel corteggiamento ed in altri contesti intrasessuali tra simili. Pertanto, i caratteri sessuali secondari sono segnali e manifestano l'espressione di informazioni affidabili sulla condizione fenotipica di colui o colei che li posseggono (Lindborg et al., 2022). Tali tratti funzionano come segnali affidabili per due motivi correlati. In primo luogo, la loro espressione è facoltativamente plastica e dipende, quindi, in modo importante dall'ambiente in cui si sviluppa, inclusa la condizione del portatore durante lo sviluppo del tratto. In secondo luogo, molti caratteri sessuali secondari sono stati considerati degli handicap di sopravvivenza (Zahavi, 1975). Comunemente la selezione sessuale nei mammiferi, compresi i primati umani e non umani, agisce in particolar modo sui tratti maschili, con conseguente maggiore varianza nella loro riproduzione (Hammer et al., 2008).

I tratti dimorfici esagerati nei maschi sono tipicamente indicati come maschili. Negli umani, infatti, i volti maschili, sono caratterizzati da un'arcata sopracciliare pronunciata, una parte inferiore del viso più lunga, da mandibole, zigomi e mento più larghi (Swaddle and Reiersen, 2002). Gli uomini sono, in media, il 7-8% più alti delle donne (Gray and Wolfe, 1980) e pesano circa il 15% in più (Smith and Jungers, 1997).

Rispetto a questo modesto dimorfismo delle dimensioni del corpo, anche la muscolatura e la forza della parte superiore del corpo sono altamente dimorfiche. Rispetto alle donne, gli uomini hanno il 61% in più di massa muscolare complessiva e il 90% in più di forza nella parte superiore del corpo (Lassek and Gaulin, 2009). I corpi degli uomini tendono anche ad avere una forma a V o a cuneo, mostrando un rapporto spalle-fianchi (Hughes and Gallup, 2003; Singh, 1993) e un rapporto vita-torace maggiore rispetto alle donne (Maisey et al., 1999; Weeden and Sabini, 2007). Inoltre, la frequenza sonora fondamentale, comunemente indicata come tono della voce, è di quasi sei deviazioni standard inferiore negli uomini rispetto alle donne (Puts et al., 2012). Lo sviluppo di questi tratti maschili negli uomini è influenzato dall'esposizione agli androgeni, in particolare al testosterone. I tratti maschili generalmente si sviluppano o diventano esagerati a seguito di un aumento della produzione di testosterone alla maturità sessuale (Butterfield et al., 2009; Fechner, 2003; Weston et al., 2007), sebbene non sia definitivamente chiaro se la dimensione di tale aumento corrisponda direttamente all'estensione dell'espressione del tratto. La chiave del presupposto che i tratti maschili degli uomini siano selezionati sessualmente è che i tratti maschili dovrebbero essere associati in modo affidabile a una maggiore idoneità biologica. Gli uomini potenziando la forma fisica hanno maggior successo nell'accoppiamento, che si traduce in probabilità più elevate di sopravvivenza della prole e, quindi, di successo riproduttivo (Lindborg et al., 2022).

1.5.1 Il dimorfismo sessuale e l'ipotesi dell'handicap fisso

Zahavi (1975) ha proposto un semplice modello per spiegare come i caratteri sessuali secondari forniscano segnali affidabili della capacità di sopravvivenza. Egli ha suggerito che tali segnali rappresentano indicatori affidabili della qualità maschile perché solo i maschi di alta qualità sono in grado di sopravvivere abbastanza a lungo, mentre i maschi di bassa qualità, che sviluppano lo stesso tratto sessuale, hanno una scarsa possibilità di sopravvivenza. Questa idea è chiamata ipotesi dell'handicap fisso. È possibile considerare l'handicap come una sorta di test imposto all'individuo. Un individuo con un tratto sessualmente selezionato ben sviluppato è un individuo che è sopravvissuto ad una prova. Una femmina che potrebbe discriminare tra un maschio che possiede un tratto selezionato sessualmente ed uno senza di esso, può discriminare tra un maschio che ha superato un test e uno che non lo ha superato. Quanto più sviluppato è il tratto, tanto più severa è la prova. Le femmine che hanno selezionato maschi con i tratti più sviluppati possono essere sicure di aver selezionato tra i migliori genotipi della popolazione maschile.

Zahavi (1975) suggerisce che il principio di handicap spiega l'evoluzione di diversi tratti apparentemente costosi o dispendiosi. L'eccessivo pennacchio della coda dei pavoni, che sembra attrarre le femmine, è ovviamente deleterio per la sopravvivenza dell'individuo, per questo motivo solo i maschi di alta qualità sono in grado di sopravvivere al peso di questo handicap, e proprio per questo motivo sono oggetto di scelta da parte delle femmine guidate dalla certezza di ottenere un maschio di qualità superiore. Allo stesso modo, i maschi appartenenti a specie che eseguono elaborate esibizioni di corteggiamento, equivalenti a dei comportamenti rischiosi che

possono attirare i predatori, mostrano alle femmine la quantità di rischio che possono permettersi di correre e, nonostante ciò, di riuscire a sopravvivere (Zahavi, 1975). Se l'esibizione sessuale secondaria di un maschio ha come funzione quella di mostrare la sua abilità e la sua capacità di mantenere la qualità di tali caratteri a fronte del loro costo energetico/metabolico, allora l'efficienza energetica così esibita dovrebbe essere di particolare importanza ecologica per le femmine di quella determinata specie (Zahavi, 1975).

1.5.2 L'ipotesi dell'handicap dell'immunocompetenza

Una versione speciale del meccanismo dell'handicap di Zahavi (1975) è rappresentata dall'ipotesi dell'handicap dell'immunocompetenza (Folstad and Karter, 1992; Wedekind and Folstad, 1994), che suggerisce che i caratteri sessuali secondari si sviluppano in risposta agli androgeni circolanti che aumentano l'espressione dei caratteri sessuali secondari, ma riducono il funzionamento del sistema immunitario, e quindi sopprimono la capacità degli individui di aumentare una difesa immunitaria contro i parassiti. In altre parole, potrebbe esserci un intricato meccanismo di feedback negativo tra i caratteri sessuali secondari dell'ospite, gli ormoni dell'ospite, le difese immunitarie dell'ospite ed i parassiti (Folstad and Karter, 1992). I maschi di alta qualità saranno in grado di sviluppare evidenti tratti sessuali e di far fronte ad alti livelli di androgeni che solo in misura relativamente piccola compromettono la loro difesa immunitaria. Le differenze di sesso nel corso delle infestazioni parassitarie (Zuk, 1990) e le relazioni tra ormoni sessuali e parassitosi (Alexander and Stimson, 1988) sono coerenti con l'ipotesi dell'handicap dell'immunocompetenza. Il fattore chiave è

la relazione reciproca tra i livelli degli ormoni sessuali, in particolare il testosterone, e la competenza complessiva del sistema immunitario. L'infestazione da parassiti porta ad un aumento dell'attività del sistema immunitario che può sopprimere la secrezione di testosterone (Zuk et al., 1995). Il declino del testosterone si tradurrà in caratteristiche sessuali secondarie poco sviluppate, che segneranno di conseguenza l'infestazione da parassiti a potenziali compagni e concorrenti. Inoltre, l'ipotesi prevede che l'immunosoppressione sia più evidente nei maschi in condizioni di salute generalmente precarie rispetto ai maschi in migliori condizioni fisiche. La relazione tra testosterone, espressione di tratti sessualmente selezionati e resistenza alle malattie è, tuttavia, poco chiara e può variare a seconda della specie, dei tratti e delle diverse caratteristiche del sistema immunitario (Roberts et al., 2004). Tra le specie, la relazione tra carico parassitario e testosterone è minima e suggerisce che alti livelli di testosterone non compromettono necessariamente le funzioni immunitarie. Questo non significa necessariamente che il modello di immunosoppressione sia sbagliato, anzi, applicando il modello è possibile prevedere che i maschi in buona salute possono tollerare sia alti livelli di testosterone che portano alla piena espressione di tratti sessualmente selezionati sia alti carichi di parassiti (Jacobs and Zuk, 2012).

1.5.3 La funzione mitocondriale

Uno studio di Koch e colleghi (2017) rivela che gli ormoni, l'immunocompetenza, e i caratteri sessuali secondari possono essere spiegati meglio dalla mediazione ormonale delle principali vie mitocondriali e dal ruolo mitocondriale nella sintesi ormonale, che a loro volta influenzano gli aspetti sia dei caratteri sessuali secondari che della

funzione immunitaria. Pertanto, Koch e colleghi (2017) propongono che i caratteri sessuali secondari possano essere collegati ad aspetti chiave dell'immunocompetenza attraverso la co-dipendenza della funzione mitocondriale. Al di fuori della letteratura biomedica il coinvolgimento mitocondriale nella funzione immunitaria è tenuta in scarsa considerazione, ma poiché i mitocondri sono i principali produttori di energia della cellula e sono i centri della biosintesi e della risposta allo stress ossidativo, è corretto collocarli al centro di una varietà di percorsi immunitari. Prendere in considerazione la funzione mitocondriale unifica i principi base dello studio della selezione sessuale, dell'eco-immunologia, dell'ecologia dello stress ossidativo, dello stress e biologia degli ormoni riproduttivi e della fisiologia animale (Koch et al., 2017). I mitocondri sono meglio conosciuti come i siti primari di produzione di ATP, la fonte rinnovabile di energia di un organismo vivente, ottenuto principalmente tramite fosforilazione ossidativa effettuata dalla catena di trasporto degli elettroni. L'energia prodotta dai mitocondri è essenziale per la produzione di proteine e l'alimentazione dei processi richiesti per fornire una risposta immunitaria, ma energia e produzione di proteine non sono i soli fattori in comune tra mitocondri e funzione immunitaria. Infatti, i mitocondri oltre ad essere la fonte dell'energia necessaria per innescare una risposta immunitaria sono anche possibili bersagli di diversi agenti patogeni (West et al., 2011; Weinberg et al., 2015), e pertanto è essenziale per il sistema immunitario tenere sotto controllo lo stato di funzionamento dei mitocondri (Lartigue and Faustin, 2013). I mitocondri sono anche un sito primario di azione per ormoni steroidei, che hanno relazioni con l'immunocompetenza e la manifestazione dei caratteri sessuali secondari, i cosiddetti ornamenti, in una varietà di vertebrati. Gli ormoni steroidei includono sia gli ormoni sessuali, che sono importanti nei cambiamenti fisiologici e

comportamentali associati con la riproduzione, sia gli ormoni della risposta allo stress, come i glucocorticoidi, che mediano la redistribuzione dell'energia verso processi che supportano la sopravvivenza immediata e sono distanti dal supportare processi non essenziali. Questi ormoni hanno vari effetti sulla funzione immunitaria e/o sulla produzione di caratteristiche sessuali secondarie. L'ormone sessuale testosterone è spesso correlato all'aumento dell'aggressività intrasessuale, come la difesa del territorio o alla competizione nei confronti dei compagni. Il testosterone è implicato nella produzione di diversi ornamenti come le corna del cervo o l'arrossamento del becco nei fringuelli zebrati. Inoltre, i glucocorticoidi hanno generalmente una funzione di natura immunosoppressiva e interagiscono con il genoma nucleare per inibire la sintesi, il rilascio o l'efficacia di mediatori immunitari come le citochine e le immunoglobuline (Sapolsky et al., 2000). Anche se gli ormoni regolano l'attività mitocondriale, i mitocondri svolgono comunque un ruolo importante nella regolazione della produzione di ormoni, in particolar modo di quelli steroidei. Poiché le cellule hanno poca capacità di immagazzinare ormoni, i livelli di ormoni steroidei vengono controllati principalmente nella fase di sintesi che avviene perlopiù proprio nei mitocondri. Pertanto, comprendere l'importanza dei mitocondri nella sintesi e la risposta dell'ormone aggiunge una nuova prospettiva alla discussione delle relazioni tra sistemi endocrini ed altri aspetti della fisiologia e del comportamento (Koch et al., 2017).

1.6 Gli effetti dello stress sui tratti sessualmente dimorfici

Allo stato attuale, l'entità dei contributi delle influenze biologiche, dei fattori sociali ed ecologici, e dell'entità delle difficoltà economiche sull'espressione delle differenze sessuali non è totalmente compresa (Geary, 2015). Sebbene la selezione sessuale non sia l'unico processo alla base delle differenze sessuali, tuttavia, qualsiasi sia il suo contributo, essa rappresenta uno strumento efficace per identificare i tratti potenzialmente e maggiormente vulnerabili (Geary, 2015). La teoria della selezione sessuale di Darwin (1871) fornisce le basi per dare una spiegazione a ciò che al momento è noto sulle vulnerabilità psicopatologiche e cognitive sesso-specifiche. Pertanto, l'inquadramento delle vulnerabilità appare più comprensibile in termini di deviazione degli individui dalle norme sesso-specifiche di un determinato dominio psicologico/cognitivo (Geary, 2015). Per esempio, per quanto riguarda lo sviluppo fisico per valutare gli effetti di una malattia o di deficit nutrizionali si rivela necessario utilizzare parametri diversi tra maschi e femmine (Tanner, 1990). Ciò è ugualmente valido per il cervello e la cognizione. Un esempio può essere rappresentato dall'analisi dei profili cognitivi di uomini e donne con malattia di Parkinson. Nelle valutazioni dei sintomi cognitivi, le donne hanno, in genere, prestazioni migliori in compiti riguardanti abilità verbali e linguistiche, mentre gli uomini hanno punteggi più elevati delle donne nelle misurazioni di abilità visuo-spaziali, sebbene queste differenze tendano a scomparire con il progredire della malattia (Miller and Cronin-Golomb, 2010).

Geary (2010) suddivide i tratti condizione-dipendenti degli esseri umani in tre categorie: tratti fisici, tratti comportamentali e tratti cognitivi. La suddivisione indica

prima il genere - maschi, F femmine, B entrambe - e in diretto riferimento a questa distinzione vengono inserite le valutazioni delle caratteristiche in rapporto alla storia dello sviluppo dell'individuo, dall'infanzia all'età adulta passando per l'adolescenza. Per ogni fase della vita viene indicata la misura in cui il tratto è vulnerabile. Gli studi sulle relazioni tra l'esposizione agli stressors e le vulnerabilità sesso specifiche sono pochi e in misura ancor minore quelli che riguardano i tratti fisici e comportamentali. Una delle incomprese conseguenze dell'ignorare la selezione sessuale, con le controversie che essa genera, è la sottostima della differente vulnerabilità tra maschi e femmine sottoposti ai diversi stressors. Per questo motivo è importante fare una riflessione sui tratti condizione-dipendenti negli esseri umani.

La prima delle tre categorie di tratti descritta da Geary (2010) è costituita dalla vulnerabilità fisica. I tratti analizzati in riferimento ai maschi sono lo sviluppo scheletrico, la massa muscolare, l'attività e la forma fisica, il grasso della parte superiore e per entrambi i sessi viene considerata la struttura facciale – mento, guance e grandezza degli occhi. Per le femmine i tratti fisici condizione-dipendenti riguardano la carnagione, le caratteristiche del volto e il grasso nella parte inferiore, la crescita scheletrica – considerando la larghezza del bacino e il rapporto vita fianchi. I tratti comportamentali, per i maschi, comprendono aspetti che riguardano il gioco violento, il gioco di coalizione, la densità della rete dei pari, l'aggressione fisica, l'assunzione di rischi, il comportamento esplorativo, l'azione del lanciare, la compostezza emotiva, le esibizioni di particolari espressioni facciali. Per entrambi i generi abbiamo le caratteristiche vocali e in riferimento alle femmine le amicizie diadiche e l'aggressività relazionale.

I tratti cognitivi per i maschi sono rappresentati dal processamento dei volti e delle voci – in particolare il riconoscimento della rabbia, *in - group bias* rafforzata nella cooperazione di gruppo con il conflitto di gruppo, la navigazione spaziale – in particolar modo l'orientamento, la lettura di mappe, la sensibilità alle direzioni cardinali, la rappresentazione spaziale – intesa come generazione e manipolazione mentale di immagini, il tracciamento visuo-spaziale, inteso come accuratezza nell'individuare oggetti in movimento e la loro cattura, la memoria visuo-spaziale, il rilevamento di oggetti, la visione a distanza – in termini di acuità visiva.

Per le femmine i tratti cognitivi considerati sono il processamento dell'espressività non verbale, il processamento dei volti – con particolare attenzione al riconoscimento delle espressioni facciali, il linguaggio, l'intonazione vocale – con riferimento ai cambiamenti di intonazione, soprattutto in relazione ad altre femmine, l'apprendimento verbale – l'accuratezza nell'apprendimento delle associazioni verbali, memoria verbale in relazione alle conversazioni casuali e per entrambe i generi la teoria della mente (Geary, 2010). In sintesi, vengono identificati i tratti e il loro sviluppo suddividendo i tratti cognitivi per il genere in cui essi sono maggiormente vulnerabili e prevedendo, inoltre, in base alla loro grandezza, quanto e quando essi possano essere maggiormente influenzati dagli effetti degli stressor nei diversi periodi dello sviluppo (Geary, 2015).

Assumendo una prospettiva evuzionistica Geary (2015) focalizza l'attenzione sulla fisica popolare e sulla psicologia popolare, indicando maggiori vantaggi dei maschi nel primo rispetto alle femmine, avvantaggiate nel secondo. Molti aspetti della competizione intrasessuale maschile nelle società tradizionali sono basati sulle capacità visuo-spaziali (Geary, 2010). In queste società, che si presume

rappresentino delle varianti moderne dei gruppi di cacciatori e raccoglitori che hanno caratterizzato la vita socioecologica dei nostri antenati durante il paleolitico, gli uomini dovevano spostarsi da un luogo all'altro in misura dalle due alle quattro volte maggiore rispetto alle donne, per esplorare il territorio durante la caccia. Per quanto riguarda le capacità cognitive, o psicologia popolare, le donne sono avvantaggiate rispetto agli uomini in molti ambiti, tra cui la capacità di individuare le variazioni impercettibili relative ai comportamenti non verbali ed alle espressioni facciali, importanti per supportare le relazioni diadiche e le coalizioni nelle competizioni intrasessuali (Geary 2010). Il sistema neurobiologico in risposta a questi stressors è stato ampiamente studiato e i risultati, supportati da ricerche di neuroimaging, hanno ampliato la comprensione dei sistemi neurali che sottendono i meccanismi legati alle competenze cognitive e sociali (Cacioppo et al., 2002). Grazie a questi studi è possibile formulare ipotesi sui sistemi cerebrali che sono maggiormente sensibili alla condizione energetica dell'individuo. Essi includono porzioni interconnesse dell'amigdala – che si attiva nelle situazioni minacciose – dell'ippocampo – importante per la memorizzazione della minaccia e delle emozioni ad essa associate – e della corteccia prefrontale mediale, che regolando le risposte dell'amigdala e dell'ippocampo, a sua volta, contribuisce all'abilità che gli individui hanno di regolare le reazioni emotive in condizioni di stress (Bremner, 2006; Etkin and Wagner, 2007).

L'ansia e la paura che derivano da queste risposte, da un punto di vista evolutivistico rappresentano una criticità nel comportamento legato all'evitamento delle minacce, sia da parte di predatori che da parte di conspecifici (Ohman, 2002). L'esperire ansia e paura in condizioni minacciose ha un impatto ancora maggiore nella competizione maschile intraspecifica, in quanto aumenta i rischi di perdere la

supremazia nel territorio o di diminuire il proprio status sociale (Geary et al., 2014). Questo aspetto differisce notevolmente tra i generi e per questo motivo è messo in relazione ad una possibile traiettoria di previsione evolutivista. Stanton e colleghi (2009) hanno evidenziato come i livelli di testosterone negli uomini, ma non nelle donne, siano associati alla ridotta attivazione dell'amigdala e ad una crescente attivazione dell'area prefrontale mediale quando vengono processati i volti rabbiosi. Questo fatto suggerisce che l'ormone moduli le risposte allo stress ed alla paura nei maschi.

Colom e colleghi (2013) in un ampio studio di neuroimaging evidenziano le differenze tra uomini e donne per quanto riguarda l'ippocampo. Infatti, gli uomini hanno un volume ippocampale maggiore e migliori capacità cognitive nelle abilità spaziali. Inoltre, l'ippocampo, insieme ad aree come la corteccia parietale destra, è di supporto agli uomini nel sancire il proprio vantaggio sulle donne nell'abilità di identificare e reagire ad oggetti in movimento nello spazio (Posner, 1994). L'abilità visuo-spaziale particolarmente sviluppata, insieme alle altre capacità cognitive marcate nei diversi generi, è quindi, più vulnerabile nel momento dell'esposizione agli stressors ed i meccanismi che sottendono tali processi e tali abilità sono influenzati dall'esposizione a diversi tipi di stressors: dalla malnutrizione alle tossine, dai parassiti ai fattori di stress sociale. Tali stressors mettono di rivelare, con la loro azione, i tratti fenotipici più marcati e condizione-dipendenti e, quindi, sessualmente selezionati, che nei due generi risultano più vulnerabili (Geary, 2015).

Capitolo 2

LE DIFFERENZE SESSUALI IN AMBITO COGNITIVO:

LA NAVIGAZIONE VISUO-SPAZIALE

2.1 Il concetto di abilità visuo-spaziale

Quando si confrontano le differenze nelle abilità cognitive, la discussione si concentra su quale possa essere il fattore preponderante nel determinarle, ovvero se sia la natura e, in quel caso la maggior parte delle caratteristiche sarebbe determinata dalle differenze biologiche, o la cultura, per cui la maggior parte delle caratteristiche delle abilità sarebbe attribuibile, invece, ai fattori sociali e all'apprendimento (Weiss et al., 2003). Negli ultimi anni si sono moltiplicate le ricerche che indagano le differenze di genere nelle funzioni neuropsicologiche, e sulla morfologia cerebrale di pazienti con disturbi come schizofrenia, depressione o malattia di Alzheimer. L'analisi delle differenze di genere necessita di un approccio particolarmente cauto, per via di numerose variabili, tra cui i livelli ormonali e i fattori culturali che ne influenzano i risultati. Proprio per questo motivo, quando si parla di differenze sessuali nelle funzioni intellettuali ci si riferisce ad esse in termini di abilità, piuttosto che come concetto generico di funzione intellettuale (Collins and Kimura, 1997).

Ad oggi gli studi in letteratura suggeriscono che gli uomini, in media, hanno migliori performance rispetto alle donne in particolari compiti di abilità spaziali, sebbene il concetto di abilità spaziale o cognizione spaziale sia piuttosto vago. Linn e Petersen (1985) suggeriscono una classificazione dei test spaziali per misurare queste

abilità, individuando tre categorie: percezione spaziale, rotazione mentale, visualizzazione spaziale. La percezione spaziale è definita come l'abilità di determinare relazioni spaziali nonostante le informazioni disturbanti - *distracting*. La rotazione mentale è definita come la capacità di ruotare velocemente ed accuratamente due o tre figure tridimensionali nella propria immaginazione. Infine, la visualizzazione spaziale è definita come l'abilità di manipolare complesse informazioni spaziali, in cui sono richiesti diversi stadi per produrre la soluzione corretta. Questa categorizzazione è stata indagata da Voyer e colleghi (1995) in una metanalisi di studi pubblicati dal 1974 al 1993, in cui si evidenzia il fatto che le differenze sessuali sono presenti in alcune categorie di abilità spaziali, ma non in altre. Infatti, sono state rilevate ampie differenze in favore dei maschi in diverse misurazioni della rotazione mentale. Inoltre, gli uomini hanno migliori risultati rispetto alle donne nei test di ragionamento matematico e nella navigazione attraverso il percorso per raggiungere la meta. Gli uomini sono anche più accurati nei compiti di esecuzione di attività motorie verso un bersaglio, come per esempio guidare o intercettare traiettorie (Linn and Petersen, 1985).

Al contrario, per quanto riguarda le abilità linguistiche le donne sono più flessibili. Esse tendono ad essere più rapide nell'identificare ed abbinare oggetti, un'abilità definita velocità percettiva (Weiss et al, 2003). Le competenze linguistiche in cui le donne hanno migliori performance sono la fluenza verbale, l'articolazione del discorso, le competenze grammaticali e l'utilizzo di periodi più lunghi e complessi (Weiss et al., 2003). Inoltre, le donne sono più accurate in alcuni compiti di precisione manuale come, ad esempio, inserire pioli in fori designati su una tavola (Weiss et al., 2003). Durante l'infanzia di solito le femmine imparano a parlare prima (Morley,

1957), leggono meglio (Gates, 1961) e utilizzano costruzioni grammaticali complesse più precocemente rispetto ai maschi (Harris, 1978), inoltre hanno performance migliori anche nei test di richiamo immediato o differito (Kramer et al., 1997). È dimostrato, quindi, che le donne hanno un vantaggio dove sono richieste competenze di memoria episodica, verbale e non verbale, nelle abilità visuo-spaziali.

2.2 Le differenze sessuali nelle abilità visuo-spaziali

Le differenze sessuali nell'esecuzione di compiti che riguardano le abilità spaziali non sono un tratto unitario, ma differiscono tra i sessi e sono strettamente legate a meccanismi per risolvere diversi problemi adattativi. Numerosi studi in letteratura evidenziano che le donne hanno un vantaggio nella memorizzazione degli oggetti rispetto agli uomini e gli uomini hanno migliori prestazioni delle donne nella navigazione spaziale. Voyer e colleghi (2017) sono stati i primi a fare uno studio sulle differenze sessuali nelle abilità visuo-spaziali della *working memory*. Nella loro metanalisi hanno raccolto 180 *effect size* di soggetti maschi e femmine sani, tratti da 98 campioni con un'età compresa tra i 3 e gli 86 anni. I dati sono stati analizzati anche in diversi sottogruppi ed i risultati hanno mostrato un vantaggio debole, ma significativo a favore degli uomini. Tutte le analisi dei risultati evidenziano un vantaggio dei maschi sulle femmine, tranne che per la memoria per la localizzazione, dove si manifesta un vantaggio per le donne (Voyer et al., 2017). Inoltre, i risultati del Vandenberg and Kuse (1978) *Mental Rotation Test* – MRT – evidenziano una performance a vantaggio degli uomini corrispondente ad un'entità dell'effetto che varia da moderato a forte con $d=0.56$ secondo Voyer e colleghi (1995) e un $d= 0.73$

secondo Linn e Petersen (1985). Proprio questo tipo di test evidenzia la differenza più ampia tra i sessi.

Voyer e colleghi (2017) specificano che con il termine *visual spatial working memory* si riferiscono al processo di *storage* – immagazzinamento – dell'informazione visiva e spaziale in un limitato periodo di tempo e tutti gli studi raccolti rispondono a questa definizione. Inoltre, la metanalisi riporta alcuni studi in cui vengono svolti compiti molto diversi dall'originale studio di Silverman e Eals (1992), dove l'intervallo di tempo tra la codifica ed il richiamo degli oggetti mostrati è più lunga e va ben oltre i limiti della *working memory*. La metanalisi di Voyer e colleghi (2017) è la prima ad occuparsi di evidenziare differenze sessuali in ambito della memoria di lavoro – *working memory* – visuo-spaziale. Rispetto alle precedenti analisi, la strategia di ricerca include le differenze tra i generi, per cui il limite maggiore della metanalisi stessa è che i precedenti studi non considerano questo aspetto e non menzionano, inoltre, il genere dei soggetti testati. Nonostante i limiti, emerge che le differenze non solo esistono, ma sono anche di ampia entità, in particolare nel test di rotazione mentale, i maschi sono avvantaggiati in tutti i task, mentre le femmine solo nella localizzazione degli oggetti.

In un'altra metanalisi, Voyer e colleghi (2007) indagano le differenze sessuali nelle abilità di localizzazione di oggetti nello spazio. L'obiettivo dello studio di Voyer e colleghi (2007) consiste nel quantificare l'entità dell'effetto delle differenze di genere in compiti di memorizzazione dell'oggetto. I risultati hanno mostrato significative differenze a favore delle donne. I disegni sperimentali dei 123 studi hanno effetti calcolati in partizioni di età, tipologia di oggetti - comuni o non comuni - tipo di misura, richiamo o riconoscimento e metodo di punteggio - precisione, tempo,

distanza. Solo i casi di misurazioni a tempo e di presentazione di oggetti definibili come maschili mostravano risultati migliori nei maschi. Le ricerche inserite nella metanalisi includevano anche quelle non pubblicate, i cui risultati presentavano differenti versioni di compiti di memoria di localizzazione degli oggetti nello spazio. Gli indici di entità dell'effetto sono stati ripartiti in base ai diversi compiti relativi alle ricerche analizzate. I compiti di identificazione dell'oggetto sono stati indagati separatamente rispetto ai compiti di localizzazione degli oggetti. Per i compiti di identificazione dell'oggetto la metanalisi di 37 ricerche ha prodotto una media ponderata dell'entità dell'effetto di $d=0.229$, il quale evidenzia un vantaggio a favore delle donne.

Per quanto riguarda i compiti di memoria della localizzazione dell'oggetto, gli 86 dati sull'entità dell'effetto hanno evidenziato una media ponderata di $d=0.269$ dimostrando un netto vantaggio, anche in questo caso, delle donne rispetto agli uomini, considerato che gli oggetti comuni e con forme geometriche note avevano entità dell'effetto maggiori e che per gli oggetti meno noti e neutrali dal punto di vista del genere le differenze non erano significative, ma eterogenee (Voyer et al., 2007). Per quanto riguarda l'età, le prime differenze sessuali appaiono durante la pubertà e una delle cause più plausibili è che le differenze emergano in parte in seguito ai cambiamenti ormonali e cognitivi legati a questo periodo di vita. Ci si aspetta, quindi, che la sensibilità del cervello a certi ormoni sia il risultato dell'evoluzione. Infatti, l'emergere di differenze di genere nella memorizzazione della posizione di oggetti per la prima volta in età puberale, supporta la teoria di Silverman e Eals (1992) la quale afferma che le differenze sono influenzate da eventi che si manifestano durante la pubertà, dovuti al ruolo dei differenti ormoni sessuali.

Inoltre, gli oggetti considerati come maschili presentano dimensioni dell'effetto maggiori in favore dei maschi suggerendo che la rilevanza dell'oggetto per il genere maschile sia un fattore determinante per le differenze di genere nei compiti di memorizzazione della posizione degli oggetti. Nell'acquisizione dei dati sulle dimensioni dell'effetto dell'attività di memoria dell'oggetto è stato preso in considerazione il contesto di codifica (Voyer et al., 2007). Dalle 86 ricerche analizzate, 48 con codifica accidentale e 38 con codifica esplicita dell'oggetto, è emerso che l'influenza del contesto di codifica sull'entità delle differenze sessuali nella memorizzazione dell'oggetto non si generalizza tra i tipi di oggetto. La maggior parte degli *effect size* analizzati da Voyer e colleghi (2007) riguarda dati di ricerche ed esperimenti in cui i raggruppamenti di oggetti erano comuni e presenti in ambienti quotidiani, anche se questi oggetti si possono plausibilmente dividere in oggetti maschili, femminili e neutri. I risultati supportano la teoria di Silverman e Eals (1992) in cui le donne eccellono nella localizzazione spaziale per ragioni evolvuzionistiche. È necessario considerare e distinguere i diversi compiti dello studio, in quanto di fronte a varie misurazioni di accuratezza e distanza è possibile che le differenze sessuali nella memorizzazione della localizzazione degli oggetti possa dipendere dalla natura del compito. In conclusione, l'analisi dei dati suggerisce chiaramente la presenza di differenze sessuali, da deboli a moderate, nell'identificazione e nella memorizzazione degli oggetti, e che numerosi fattori ne influenzano l'entità dell'effetto.

Oltre all'identificazione ed alla localizzazione degli oggetti nello spazio, per la sopravvivenza di una specie animale è fondamentale la navigazione nello spazio, indispensabile per ritrovare un percorso o dirigersi verso una meta. La meta-analisi di Nazareth e colleghi (2019) esamina un'ampia varietà di paradigmi e popolazioni

utilizzando i 694 *effect size* di 266 studi. L'entità dell'effetto risulta moderata ($d=0.34$ a $d=0.38$) e sia il tipo di compito che la diversità delle variabili e dell'ambiente contribuiscono ampiamente alla variabilità dell'entità dell'effetto e solo in pochi casi le differenze sono assenti o troppo marcate. Inoltre, tra i potenziali modulatori bisogna prendere in considerazione fattori come la prospettiva (Nazareth et al., 2019). Vi è, infatti, un'importante differenza nei compiti di navigazione costituita dal modo in cui l'ambiente viene rappresentato mentalmente. In una situazione in cui gli individui ricercano un percorso da seguire, questi sperimentano mentalmente l'ambiente da una prospettiva in prima persona e quindi localizzano gli obiettivi in relazione alla loro posizione. D'altro canto, quando si cerca di rappresentare un'ambiente mediante una prospettiva cosiddetta "survey", gli individui ricostruiscono una mappa dell'intero spazio utilizzando la prospettiva a volo d'uccello - *bird's eye* (Nazareth et al., 2019). Le indagini sull'inclusione della prospettiva come modulatore hanno evidenziato che gli uomini hanno preferenza per l'orientamento euclideo, ossia attuano una strategia che utilizza per esempio distanze e punti cardinali, mentre le donne attivano un orientamento rivolto a punti di riferimento che fa affidamento sulla relazione spaziale tra alcuni indizi ambientali e l'obiettivo da raggiungere (Saucier et al., 2003).

Nello studio delle differenze sessuali nella navigazione spaziale occorre considerare alcuni fattori che possono influenzare la misura delle differenze poiché esse stesse sono alla base delle differenze cognitive e di strategia utilizzate dai due generi. Il tempo è un fattore che può riflettere l'accuratezza del livello di abilità. In considerazione del tempo impiegato nella risoluzione dei compiti di abilità visuo-spaziali, i risultati mostrano un maggiore vantaggio per gli uomini che risponde con migliore accuratezza in minor tempo nei compiti di navigazione spaziale, e questo ne

enfatisza il livello di abilità (Malinowski and Gillespie, 2001). La direzione è un altro fattore molto importante nell'orientamento spaziale, dal momento che spesso per muoverci cambiamo direzione. Le potenziali variabilità nelle differenze sessuali in questo caso potrebbero essere indicative di differenze nella *working memory* e nella flessibilità delle strategie. Baddeley (1986) definisce la *working memory* o memoria di lavoro come la capacità di immagazzinare e tenere temporaneamente e contemporaneamente informazioni - per un breve periodo di tempo, mentre è in corso la nostra capacità cognitiva decisionale o operativa e l'abilità di manipolare le informazioni o di usarle guidando le nostre azioni. Assumendo che il maschio abbia un vantaggio in termini di *working memory* (Voyer et al., 2017) l'entità delle differenze sessuali potrebbe essere maggiore in quelle situazioni in cui durante la navigazione spaziale avvengono diversi cambiamenti di direzione, come risultato di un ulteriore carico della memoria di lavoro, quindi, il cambiamento di percorso può essere considerato come un modulatore, così come il tempo, i segnali visivi, la familiarità con gli oggetti e l'ambiente in cui il soggetto si trova ad orientarsi.

Duff e Hampson (2001) indagano sulle differenze sessuali nella PFC degli esseri umani. La ricerca comprende tre diversi tipi di studio con diversi test per valutare compiti di memoria di lavoro spaziale e un test con un compito di *working memory* verbale. In tutti e tre gli studi le femmine commettono meno errori e in tempi inferiori rispetto agli uomini. Questo vantaggio non è, però, riferibile a differenze di abilità intellettuali generali, attenzione, percezione della velocità, memoria accidentale o alla memoria di lavoro verbale (Duff and Hampson, 2001).

Tuttavia, la *working memory* ha un ruolo cruciale per un'ampia varietà di processi cognitivi complessi, inclusi il calcolo, il ragionamento e la comprensione

linguistica. La caratteristica principale di questi compiti consiste nel fatto che dipendono dall'abilità di mantenere le informazioni rilevanti in una forma immediatamente accessibile e simultaneamente dall'abilità di processare la nuova informazione. Per esempio, la comprensione della lettura richiede che il lettore debba avere un accesso alle informazioni pregresse di tipo pragmatico, semantico, sintattico per usarle nel processo di codifica, integrando il testo attuale. Nei compiti di *working memory* l'informazione deve essere costantemente aggiornata e modificata mentre il compito procede. Proprio questo aggiornamento continuo, interno e in tempo reale consente di mantenere le informazioni rilevanti per portare avanti il compito efficacemente. Il termine *working memory* in sé, quindi, enfatizza l'archiviazione simultanea e la manipolazione attiva dell'informazione, e si differenzia così dalla memoria passiva a breve termine (Baddeley, 1986). Sia nei primati umani che non umani, l'attivazione della PFC è collegata alla performance di compiti con componenti di *working memory* - memoria di lavoro e numerosi studi elettrofisiologici e di lesioni su primati lo dimostrano. Un crescente numero di ricerche neuroendocrine suggerisce, inoltre, che gli ormoni sessuali possano modulare le funzioni della PFC. Studi su animali evidenziano che gli steroidi sessuali sono responsabili della differenziazione sessuale, sia per quanto riguarda le strutture che le funzioni del sistema nervoso centrale, attraverso due tipi di processi: effetti organizzativi e attivazionali (Becker et al., 1992). Gli effetti organizzativi degli steroidi gonadici avvengono durante il primo sviluppo del cervello e riguardano cambiamenti permanenti nei modelli di organizzazione neurale, che si manifesteranno in seguito come modelli di comportamento in età adulta. Più avanti, in età adulta, la circolazione di androgeni ed estrogeni esercita effetti attivazionali influenzando il livello di attività nei circuiti che

rispondono all'influenza degli steroidi e conseguentemente modulano l'espressione dei differenti comportamenti sessuali (Duff and Hampson, 2001). La possibilità che la PFC sia suscettibile agli effetti organizzativi e attivazionali degli steroidi sessuali è supportata da diverse evidenze. Le regioni del cervello che rispondono alla modulazione degli steroidi esprimono recettori per quei particolari steroidi, i quali sono stati identificati nella corteccia prefrontale delle scimmie rhesus durante lo sviluppo fetale (Handa et al., 1988, MacLusky et al., 1986, Pomerantz et al., 1985). Nei roditori, l'esposizione prenatale all'estradiolo, derivato dall'aromatizzazione del testosterone, è conosciuta come causa delle differenze sessuali in alcuni comportamenti e altera alcune strutture a livello ipotalamico (Arnold and Gorski, 1984). A questo proposito è interessante notare come l'aromatasi, l'enzima che converte il testosterone in estradiolo, è stato rilevato anche nella PFC del cervello fetale delle scimmie rhesus, suggerendo appunto che questa struttura sia un obiettivo dell'estradiolo (Clark et al., 1988; MacLusky et al., 1986; Roselli and Resko, 1986). Anche la vita dell'adulto è influenzata dagli ormoni gonadici, tale ipotesi è supportata dalla scoperta che la PFC è uno dei siti con maggiore affinità al legame per gli estrogeni nel cervello umano femminile (Bixo et al., 1995). Di ulteriore supporto alla teoria è il risultato di uno studio di *neuroimaging* di Berman e colleghi (1997) che indica la possibilità che l'attività della PFC possa essere modulata dai livelli circolanti degli ormoni gonadici, mostrando un cambiamento nell'attività prefrontale indotta dal compito di associazione con variazioni nello stato ormonale delle donne. L'obiettivo della serie di studi di Duff e Hampson (2001) è quello di investigare sulle possibili differenze sessuali per quanto riguarda la *working memory*. La loro ipotesi è basata su dati comportamentali e neurofisiologici, i quali suggeriscono che gli ormoni sessuali

modifichino lo sviluppo e l'attività della corteccia prefrontale dei primati. Dal momento che i livelli di androgeni ed estrogeni sono differenti nei due sessi, sia durante le prime fasi dello sviluppo che nell'età adulta ci si aspetta che la PFC e le sue funzioni siano sessualmente differenziate (Clark and Goldman-Rakic, 1989). La principale scoperta dello studio è che nei compiti di *working memory* le femmine hanno avuto risultati migliori dei maschi, non solo in termini di numero minore di errori, ma anche di rapidità nel completare le prove (Duff and Hampson, 2001). Questo porta ad ipotizzare differenze nel funzionamento della *working memory* anche per quanto riguarda la nostra specie, con le donne che risultano più efficienti nel ricordare o tenere traccia delle posizioni quando ricercano in un determinato insieme e che riescano a tenere continuamente aggiornate le informazioni sulla localizzazione per completare il compito in corso. Inoltre, il vantaggio femminile nella memoria della localizzazione degli oggetti riportato dal lavoro di Silverman e Eals (1992) che evidenzia la migliore prestazione delle donne per la localizzazione degli oggetti nello spazio, è stato scartato come spiegazione per la differenza sessuale nella *multitrial spatial working memory* SPWM. Tuttavia, sulla base dei dati originali di Silverman e Eals (1992) si potrebbe sostenere che il vantaggio femminile sull'SPWM sia una conseguenza della facilità delle donne nel formare associazioni tra i segnali di posizione e la loro posizione nell'insieme, piuttosto che la competenza sulle componenti della memoria di lavoro del compito in sé (Duff and Hampson, 2001).

2.3 Le differenze nella cognizione spaziale: verso una prospettiva evoluzionistica

L'evoluzione si basa sulla selezione sessuale e le differenze sessuali, fisiche e psicologiche, sono la conseguenza dell'applicazione di strategie diverse per risolvere problemi adattativi attraverso una serie di comportamenti che, se si rivelano efficaci, forniscono all'individuo maggiori possibilità di accoppiamento e di trasmettere gli stessi tratti alla generazione successiva tramite, appunto, la riproduzione sessuale. Gli studi recenti di psicologia evoluzionistica suggeriscono che la cognizione spaziale negli esseri umani avvenga attraverso meccanismi progettati per risolvere particolari problemi adattativi, legati alla sopravvivenza nell'ambiente, uno tra questi è quello di soddisfare il bisogno di cibo attraverso attività di raccolta che poteva naturalmente variare in qualità, quantità, localizzazione spaziale e disponibilità nel tempo (Cosmides and Tooby, 2013). Per questo motivo è importante comprendere le cause ultime e quali siano stati i meccanismi attivati dai due generi rispetto all'adattamento per la navigazione spaziale in relazione all'adattamento rispetto all'attività della raccolta e per questo è altrettanto importante fare un'analisi partendo dal loro significato evolutivo. L'esperienza che gli individui hanno del mondo porta ad essere imparziali su ciò che viene percepito ed esistono evidenze che suggeriscono come le facoltà percettive, cognitive e mnestiche abbiano delle preferenze nel processare oggetti, eventi e relazioni che rivestono un rilevante significato attraverso tutta la nostra storia evolutiva (New, Cosmides and Tooby, 2007).

2.3.1 La Foraging Hypothesis e la memoria per la localizzazione spaziale

In tutte le specie l'approvvigionamento delle risorse materiali ed energetiche rappresenta uno dei più rilevanti problemi adattativi a lungo termine a cui far fronte e proprio per questo motivo è possibile che la selezione naturale abbia agito creando una specializzazione adattativa per supportare efficientemente l'attività di raccolta, particolarmente cruciale per la sopravvivenza (Krasnow et al., 2011). I nostri antenati si nutrivano principalmente attuando strategie di foraggiamento che si sono sviluppate e differenziate tra i due generi durante l'evoluzione (Tooby and De Vore, 1987). Alcune conoscenze etnografiche evidenziano che le femmine adottano in modo abituale le strategie di raccolta, mentre i maschi svolgono l'attività di raccolta in modo più opportunistico e come attività secondaria rispetto alla caccia (Marlowe, 2007). Silverman e Eals (1992), riferendosi alle condizioni primitive della nostra specie durante il Pleistocene, indicano la prevalenza di una dieta che deriva dalla raccolta di cibo che potremmo definire *immobile*, perché ha una posizione fissa nell'ambiente. I primi tentativi di praticare la caccia erano principalmente svolti da maschi (Silverman and Eals, 1992). Queste prime differenze nella raccolta abituale delle donne e opportunistica da parte dell'uomo sono alla base di una prima differenziazione sessuale nei meccanismi di navigazione specializzata per la raccolta.

Silverman e Eals (1992) sono tra i primi a proporre una specializzazione femminile nella cognizione spaziale, in rapporto all'attività di raccolta. Partendo dall'analisi del compito di raccolta, sostengono che per essere efficaci raccoglitori è necessaria, per esempio, una memoria relativa alla posizione delle piante commestibili immerse in una più vasta vegetazione. Per questo motivo, i due studiosi sostengono

che le femmine hanno un vantaggio in ciò che è stato definito come memoria per la localizzazione degli oggetti all'interno di un insieme di oggetti limitato nello spazio. Silverman e Eals (1992), nel loro studio evidenziano che il meccanismo opera attraverso la codifica della posizione degli oggetti rispetto alla posizione degli uni rispetto agli altri, questo perché le piante possono essere memorizzate in relazione a punti di riferimento e ciò renderebbe, quindi, più facile la localizzazione delle piante che offrono cibo commestibile. Essi sottolineano, inoltre, che questa capacità, maggiormente sviluppata nelle donne, è molto sensibile all'integrità dell'insieme dei riferimenti nello spazio, e se viene a mancare, le differenze sessuali scompaiono o addirittura si possono invertire se nel compito viene modificata la componente relazionale.

Silverman e Eals (1992) enfatizzano alcuni aspetti cognitivi che sottendono la *Foraging Hypothesis* – ipotesi del foraggiamento. Primo tra tutti la capacità di memorizzare, da una stagione di raccolta all'altra, la posizione delle piante da cui viene effettuata la raccolta. Questa capacità ha a che fare con l'informazione statica, intesa come quell'informazione sulla posizione spaziale che resta invariata, sia rispetto alle relazioni sia rispetto all'ambiente circostante. Proprio per questo motivo i due studiosi ritengono che le femmine siano più efficienti degli uomini nel memorizzare oggetti nello spazio. Le pressioni selettive che hanno come risultato una migliore memoria per la posizione, non hanno agito solo a favore delle abilità di apprendimento, ma anche su quelle attentive e percettive che le femmine hanno sviluppato nell'attività di raccolta nel proprio ambiente (Eals and Silverman, 1994).

L'ipotesi del foraggiamento presuppone che la rappresentazione dello spazio venga ricordata dalle donne non deliberatamente e che le caratteristiche legate

all'ambiente fisico vengano richiamate successivamente in base alle circostanze. Se alle donne viene fatta una richiesta esplicita nel ricordare un certo stimolo, allora esse utilizzano una strategia alternativa che consiste nell'etichettarlo. Se vengono introdotti stimoli non comuni e che vanno in contrasto con l'ambiente, viene meno il vantaggio a favore delle femmine (Eals and Silverman, 1994). Gli stimoli familiari sono quelli più facilmente etichettabili e riconoscibili, così come la posizione statica di una pianta nell'ambiente circostante. Secondo Ecuver-Dab e Robert (2007), e d'accordo con Eals e Silverman (1994), è possibile che il dover trovare un nome ad uno stimolo non comune vada a creare un conflitto con lo stimolo noto precedente, e per tale ragione il vantaggio a favore del genere femminile venga meno. Ulteriori ricerche dovranno indagare sulle cause responsabili dell'eliminazione di tale differenza tra i generi. Barnfield (1999) suggerisce che le donne sono più concentrate sulla posizione di un oggetto rispetto ad un altro nello spazio, mentre gli uomini ricorderebbero la posizione in termini assoluti. La strategia femminile appare essere legata ad una sorta di categorizzazione spaziale dell'informazione e, a questo proposito, uno studio di Alexander e colleghi (2002) ha evidenziato che le donne in questo tipo di categorizzazione sono avvantaggiate dall'utilizzo dell'emisfero sinistro. Inoltre, lo stesso studio, ha mostrato che nelle prove dove gli oggetti occupano la parte destra del foglio, si evidenzia una migliore performance delle donne rispetto agli uomini. Le donne ottengono risultati migliori per quanto riguarda la localizzazione degli oggetti se questi restano nella stessa posizione, e risultati peggiori se gli stessi cambiano posizione nello spazio. Nel momento in cui viene modificata la posizione non aumenta però la performance degli uomini, per cui si può dedurre che in caso di oggetti statici si evidenzia un vantaggio per le donne (James and Kimura, 1997). Numerosi studi

dimostrano che la differenza consiste nell'utilizzo di abilità differenti. Voyer e colleghi (1995) sostengono che gli uomini utilizzano perlopiù componenti metriche nella localizzazione spaziale, definite come coordinate euclidee. Questa modalità, unitamente all'abilità di memorizzare lo spazio in modo assoluto, ci fa comprendere i vantaggi funzionali per cui gli uomini memorizzano le distanze, tuttavia, gli stessi meccanismi non sono abbastanza efficaci negli ambienti meno vasti (Voyer et al., 1995). Al contrario, le donne che hanno come funzionamento primario il fatto di memorizzare le caratteristiche e i riferimenti salienti, avrebbero un carico eccessivo se usassero lo stesso meccanismo per codificare gli ambienti su larga scala, perché la loro attività di raccolta generalmente è caratterizzata da familiarità e da un'area limitata. Le donne, attraverso il foraggiamento tramite raccolta nelle vicinanze del proprio ambiente, utilizzano una memoria per i punti di riferimento salienti, mentre gli uomini, spingendosi alla ricerca di prede in ambienti più vasti hanno sviluppato abilità che garantiscono maggiori vantaggi nei compiti di memoria spaziale (Ecuyer-Dab and Robert, 2007).

2.3.2 La Hunter-Gather Theory: suddivisione del lavoro e navigazione spaziale

Silverman e Eals (1992) sostengono la stessa conclusione a cui sono giunti Tooby e De Vore (1987), a seguito della loro ricostruzione deduttiva sullo stile di vita dei nostri antenati, evidenziando che la caccia era un'attività praticata principalmente dagli uomini, mentre la raccolta del cibo, in particolare dalle piante, è stata prevalentemente praticata dalle donne. Tooby e DeVore (1987) basano la loro deduzione sull'osservazione di primati non umani: tra gli scimpanzè ed i bonobo la caccia è

praticata dai maschi e la raccolta tra le femmine, con conseguente divisione reciproca dell'approvvigionamento, così come accade tra gli ominidi. Nell'ottica di questa ipotesi, Silverman e Eals (1992; 1994) non forniscono una precisa definizione del termine caccia, mentre Ecuver-Dab e Robert (2007) definiscono la caccia come ricerca, cattura ed uccisione di animali. Come sostenuto in numerosi altri studi, il concetto di caccia così inteso, soggiace al termine ricerca, la quale è necessaria quando viene praticata una caccia con arco e frecce, rispetto ad una caccia praticata con elementi statici come trappole o reti utilizzate per catturare piccole prede (McBurney et al., 1997). Quest'ultimo tipo di approvvigionamento può essere inteso come meno pericoloso nella sua attuazione e questo andrebbe a favore di ciò che Tooby e DeVore (1987) hanno ipotizzato, ossia che le donne si siano dedicate alla raccolta e non alla caccia. La raccolta, infatti, è maggiormente adattativa in quanto permette alle femmine di poter accudire la prole e far fronte così ad un'altra funzione cruciale, ossia la crescita della progenie. La caccia, non statica, avrebbe portato le femmine ad allontanarsi per percorrere distanze più lunghe e ad incorrere in maggiori rischi e minacce per la propria sopravvivenza, così come evidenziato da numerosi studi. Geary (2010) sottolinea che il ruolo di cacciatore assunto dall'uomo sia stato quasi una scelta deliberata, e che il risultante modello adattativo generale riguardi anche la competizione maschile intrasessuale per ottenere vantaggi riproduttivi, per risolvere conflitti sociali e per raggiungere obiettivi politici nel lungo periodo. Non c'è dubbio che l'essere cacciatore per l'uomo abbia comportato una serie di meccanismi evolutivi che hanno risolto il fondamentale bisogno di apporto energetico al fine di permettere il mantenimento dei costi metabolici richiesti per sopravvivere, ma allo stesso tempo la stessa attività lo ha portato a risolvere altri problemi adattativi legati alla vita sociale

(Ecuyer-Dab and Robert, 2007). I tratti specifici richiesti per espletare la funzione di cacciatore che fronteggia un animale, certamente selvaggio e probabilmente feroce, sono altrettanto utili in situazioni ecologiche dove è richiesta la competizione tra maschi per l'acquisizione e l'accesso alle risorse materiali, territoriali e sessuali o per stabilire una gerarchia sociale. In accordo con questa visione modulare sull'evoluzione delle architetture cognitive, si può constatare quale sia il peso dei sistemi cognitivi specifici e quali siano i loro limiti (Tooby and Cosmides, 1995). Il sistema per memorizzare la posizione degli oggetti si è evoluto in funzione della risoluzione di problemi adattativi legati a contesti ancestrali di raccolta, dove l'oggetto da tenere in memoria poteva essere rappresentato da una pianta in posizione statica e tale posizione veniva elaborata mettendola a confronto con diversi punti di riferimento. L'attività di raccolta consisteva nell'approvvigionamento di radici, foglie, frutti e semi di diverse piante, di prodotti animali come uova o miele e anche degli stessi piccoli animali tramite l'utilizzo di reti per insetti o larve (Ecuyer-Dab and Robert, 2007). Tutte queste attività costituiscono una fonte di approvvigionamento di cibo con una posizione fissa nello spazio. La *Foraging Hypothesis* sottolinea il fatto che lo stimolo statico necessita dell'impiego di una memoria per la localizzazione degli oggetti, così come Silverman e Eals (1992; Eals and Silverman, 1994) suggeriscono nei loro studi. Un interessante ricerca di Alexander (2005) descrive questo fenomeno affermando che il vantaggio femminile nella memorizzazione della posizione degli oggetti si possa estendere anche alla posizione di volti umani con espressioni facciali emozionali. I risultati dimostrano che le donne hanno un vantaggio nel riconoscere la posizione dei volti con espressione amichevole. Nel caso degli uomini si verifica, al contrario, una maggiore attenzione e precisione nei confronti di volti con espressioni rabbiose (Alexander, 2005). Questi

risultati aprono la strada ad ulteriori indagini che potranno far luce su come le differenze nelle abilità sesso-specifiche siano condizionate da altri tratti sesso-specifici legati alle strategie di accoppiamento – *mating* – e alla competizione sessuale per quei tratti che si sono rivelati efficaci, e conseguentemente sono stati trasmessi, come i diversi tipi di aggressività manifestati dai due generi. La valutazione della separazione dei lavori tra due generi e l'ipotesi del foraggiamento possono spiegare il funzionamento cognitivo attuale ed in particolare quello delle donne, ma anche quello degli uomini, per i quali la caccia poteva rappresentare un ulteriore mezzo per guadagnare un vantaggio riproduttivo grazie al vasto controllo del territorio e per la conseguente possibilità di accoppiarsi con un maggior numero di femmine (Ecuyer-Dab and Robert, 2004).

2.4 L'influenza dello stress sulla cognizione spaziale

La navigazione spaziale è fondamentale per la sopravvivenza. Esistono marcate differenze individuali nelle abilità visuo-spaziali e nella memorizzazione degli ambienti complessi. Maxim e Brown (2023) sostengono l'esistenza di schemi di dominio generale su cui si basano i meccanismi che operano per la memoria spaziale. Le nostre attività quotidiane dipendono, tra le altre condizioni, dall'abilità di mappare mentalmente l'ambiente che ci circonda. Questa abilità è influenzata da fattori ambientali interni ed esterni, come fattori psicologici quali stress e memoria spaziale. Maxim e Brown (2023) evidenziano l'importanza della memoria per la navigazione. Nei loro studi effettuano manipolazioni sulla complessità ambientale e sullo stato affettivo, per comprendere i meccanismi che sono alla base delle differenze individuali

nella memoria di navigazione ed il loro declino cognitivo con l'invecchiamento. I dati mostrano il forte impatto dei tratti cognitivi e psicologici individuali e, inoltre, sottolineano come gli individui sfruttano le caratteristiche ambientali e adottano strategie di navigazione. He e colleghi (2021) elaborano un modello cognitivo per l'apprendimento descrivendo l'influenza delle specifiche esperienze tramite una mappa cognitiva, in cui si evidenziano le interazioni tra la capacità di *working memory* spaziale e le difficoltà di integrazione delle informazioni spaziali stesse. La memoria di lavoro consente a chi si muove nello spazio di tenere in memoria sequenze di stimoli, posizioni e svolte lungo percorsi individuali durante la codifica, e anche durante la pianificazione e l'inferenza. Gli autori sottolineano che la difficoltà di integrazione spaziale è essa stessa il risultato di caratteristiche ambientali come, ad esempio, la complessità e la visibilità dell'ambiente e di tratti del navigatore relativi alla cognizione spaziale ed all'orientamento. Il modello di He e colleghi (2021) evidenzia le possibili difficoltà nell'integrare le relazioni spaziali tra gli stimoli nell'ambiente in rappresentazioni più unificate. Tali relazioni modulano la dipendenza dell'apprendimento cartografico e dell'orientamento dalla memoria di lavoro ampiamente impiegata. Gli effetti neurocognitivi dello stress possono agire sia sui processi prefrontali legati alla capacità e al controllo della memoria di lavoro, sia sulla difficoltà di integrazione spaziale attraverso l'interruzione dei contributi del lobo temporale mediale (Maxim and Brown, 2023). Una vasta letteratura ha dimostrato, inoltre, che lo stress cronico può avere un impatto sulla struttura dell'ippocampo. Il volume dell'ippocampo posteriore, in particolare, è ridotto in individui con stress cronico (Gianaros et al., 2007) e risultati simili sono stati trovati in pazienti con disturbo depressivo maggiore (O'Leary and Cryan, 2014) e disturbo da stress post-

traumatico (Bonne et al., 2008), mostrando anche prove di connettività funzionale interrotta tra l'ippocampo posteriore e le aree prefrontali mediali (Chen and Etkin, 2013). Secondo il modello concettuale di Maxim e Brown (2023) lo stress può, quindi, esercitare le suddette influenze comportamentali e psicologiche sulla navigazione spaziale attraverso un'interruzione della funzione ippocampale-neocorticale, alterando la codifica e il recupero delle associazioni spaziali tra stimoli e attraverso un'interruzione della funzione prefrontale, che può influenzare sia l'accesso controllato (Gagnon et al., 2019) all'inferenza a partire dalla memoria episodica a lungo termine, sia le strutture degli schemi di memoria (Brod et al., 2015). Queste interruzioni delle funzioni arrestano anche la sequenza delle relazioni alterando la memoria di lavoro (Gagnon and Wagner, 2016; Shields et al., 2017). Tali effetti di codifica e recupero della memoria dovuti agli stati di stress interni di chi naviga nello spazio, possono essere direttamente rilevanti per le differenze individuali nella memoria e nel comportamento di navigazione basati su mappe, poiché le persone manifestano notevoli variabilità nella risposta ai fattori di stress. Lo stress potrebbe alterare il grado in cui diversi episodi sono collegati in uno schema spaziale coerente, interrompendo la sequenza temporale delle esperienze attraverso la modulazione dell'efficacia della memoria di lavoro ed alterando la difficoltà di integrazione spaziale, interrompendo le interazioni ippocampo-corticali che possono aiutare a sostenere le abilità visuo-spaziali (Maxim and Brown, 2023). Inoltre, lo stress cronico può causare cambiamenti strutturali nel cervello dei mammiferi, e questi possono esacerbare tali effetti di stress acuto. Considerato il ruolo fondamentale l'importanza dell'ippocampo per l'apprendimento relazionale spaziale, è importante notare che lo stress cronico lascia segni duraturi delle sue interruzioni acute della funzione della

memoria ipocampale (Maxim and Brown, 2023). Lo stress cronico comporta atrofia nella corteccia prefrontale mediale (mPFC) e nello striato, aree fondamentali per gli schemi di apprendimento e decisionali – *decision-making* – con riferimento all'esperienza a priori (Dias-Ferreira et al., 2009). Numerosi studi di neuroscienze cognitive indagano sul funzionamento della navigazione spaziale, divenuto un ambito importante per la ricerca e la comprensione delle differenze individuali. Le ricerche recenti hanno come tema principale la variabilità della cognizione spaziale, che include differenze nelle prestazioni all'interno di gruppi di individui in varie situazioni. In primo luogo, le prestazioni nei compiti di cognizione spaziale possono essere influenzate dallo stress. Lo stress influisce sulla strategia di navigazione, portando gli animali sotto stress a passare da strategie di navigazione più flessibili, basate su mappe cognitive, *place-based strategies*, a strategie di navigazione basate su strategie più rigide, come quelle per associazioni e basate sulla risposta allo stimolo, *response-based strategies* (Schwabe and Wolf, 2013). Queste strategie sono supportate da diversi sistemi cerebrali, con mappe cognitive sottese dall'ippocampo e da strategie basate sulla risposta, supportate dalla regione dello striato. Studi recenti sull'uomo evidenziano una variazione della strategia analoga negli esseri umani, con la regione striatale che supporta la navigazione seguendo una buona conoscenza dei percorsi - strategie basate sulla risposta - e l'ippocampo che supporta una posizione più flessibile basata su strategie legate a mappe spaziali, come trovare scorciatoie (Marchette et al., 2011), dimostrando un maggiore sforzo sulla memoria di lavoro. Brown e colleghi (2020) indagano gli effetti dello stress, sottolineando come gli individui stressati si muovono su percorsi già noti, ripercorrendo rotte abituali, invece di utilizzare scorciatoie. Brunyé e colleghi (2017) dimostrano che l'aver minor tempo a

disposizione per la navigazione spaziale porta agli stessi risultati. Un meccanismo proposto per spiegare il fenomeno è basato sul ruolo dell'ormone cortisolo, che viene rilasciato durante lo stress e che si lega più facilmente all'ippocampo, interrompendo l'accesso alle mappe cognitive (Hegarty et al., 2023). Oltre al cortisolo, gli ormoni sessuali possono influenzare sia l'acquisizione che l'uso della conoscenza spaziale. Tuttavia, Hegarty e colleghi (2023) ipotizzano che le strategie di navigazione siano resilienti agli effetti di vari stressors, da quelli sociali a quelli fisiologici. Hegarty e colleghi (2023) presentano studi su animali e umani in cui viene dimostrata l'influenza degli estrogeni sulla capacità di navigazione, la quale regola l'organizzazione sinaptica dei circuiti di navigazione del cervello. Ad esempio, i ratti utilizzano diverse strategie di navigazione durante le fasi del ciclo estrale (Korol et al., 2004). Le stesse variazioni di strategie sono state evidenziate nelle donne durante il ciclo mestruale, soprattutto in condizioni di navigazione su ridotta scala spaziale, in particolare per la rotazione mentale (Silverman and Phillips, 1993). Questi risultati sollevano importanti interrogativi per la ricerca futura sugli effetti dei cambiamenti ormonali sulla navigazione e altri compiti cognitivi spaziali, sia durante il periodo mestruale che nella transizione della menopausa, con implicazioni che possono chiarire le differenze sessuali nella navigazione spaziale in rapporto all'età (Newcombe et al., 2023). Le capacità e le strategie di navigazione possono variare tra i diversi tipi di ambiente che differiscono per le indicazioni di navigazione, quali la disponibilità di punti di riferimento distali, di confini chiari, e di strutture a griglia regolari ed irregolari. Quindi, per esempio, un individuo che presta attenzione a punti di riferimento distali può essere particolarmente abile nella navigazione in ambienti esterni che forniscono punti di riferimento salienti, come una catena montuosa visibile, ma mostrano una

capacità ridotta di navigazione in ambienti interni che non forniscono accesso a segnali distali (Newcombe et al., 2023). L'esperienza di vita e la navigazione in specifici tipi di ambienti possono avere un profondo effetto sulla nostra abilità di navigazione (Maxim and Brown, 2023).

2.4.1 Il dimorfismo sessuale nelle abilità spaziali e gli effetti ormonali

La selezione sessuale è basata sulla competizione e la ricerca del partner è correlata alle differenze sessuali nell'apprendimento spaziale, nella memoria e nei sistemi cerebrali di supporto (Gaulin, 1992). I maschi che si impegnano nella competizione sono poliginici perché possono ampliare il loro territorio durante la stagione riproduttiva alla ricerca di compagne, mentre i maschi di specie monogame imparentate condividono un territorio che si sovrappone a quello dei loro compagni (Gaulin, 1992). Negli ultimi decenni, le differenze sessuali nella cognizione spaziale sono state spesso attribuite all'adattamento in risposta alla selezione naturale. Secondo Clint e colleghi (2012) l'assunzione dell'adattamento come spiegazione appropriata è stata simultanea alla scoperta ed alla verifica della superiorità maschile nella navigazione spaziale, anche senza alcuna prova sostanziale che stabilisca un ruolo causale per l'adattamento. Secondo Clint e colleghi (2012) una possibilità alternativa all'approccio evuzionistico relativo alle differenze sessuali nella cognizione spaziale è rappresentato da un effetto collaterale genetico o ormonale. Lo studio, mediante l'uso di un'analisi comparativa basata sulla filogenetica, valuta direttamente l'ipotesi dell'adattamento in base ai dati disponibili sulle differenze di specie nell'abilità spaziale. Gli autori hanno trovato riscontro all'ipotesi che le differenze di specie nel

dimorfismo siano positivamente associate a differenze parallele nelle capacità di navigazione spaziale. Tuttavia, Clint e colleghi (2012) sostengono che le differenze sessuali nella cognizione spaziale sono il risultato di un effetto collaterale ormonale e che questa ipotesi sia meglio supportata dai dati di numerosi studi. Infatti, l'ipotesi che gli ormoni influenzino la navigazione spaziale trova ampio riscontro in letteratura. D'altro canto, per sostenere che un tratto sia il risultato di un adattamento evolutivo, Williams (1966) descrive un adattamento come un tratto che si evolve perché contiene in sé un vantaggio altamente efficace per il successo riproduttivo e, di conseguenza, per la sopravvivenza. Le condizioni ambientali e la competizione favoriscono un tratto piuttosto che un altro facendo sì che il portatore dei geni di quel tratto li trasferisca, rendendo il tratto più diffuso e presente nelle successive generazioni. Per questa ragione il tratto deve possedere una specifica funzione, e questa funzione insieme alla sua utilità passata e presente, ne spiega l'alta frequenza nella popolazione (Williams, 1966). Clint e colleghi (2012) sostengono che i maschi mostrano prestazioni superiori rispetto alle femmine nei compiti pertinenti al *wayfinding*, inteso come orientamento nel ritrovare il percorso, negli esseri umani e in molti animali. La prestazione superiore nei maschi è stata documentata in tutte le culture e in tutte le specie e sembra essere correlata all'ormone testosterone. Inoltre, il tratto sembra conferire un vantaggio in termini di fitness, ovvero una maggiore capacità di navigazione sembrerebbe essere vantaggiosa per la caccia, quando le distanze percorse sono lunghe e necessitano di ricordare come tornare a casa (Silverman et al., 2000; Ecuier-Dab and Robert, 2004). L'ipotesi di adattamento sostiene che la prestazione superiore dei maschi rispetto alle femmine nei compiti di navigazione spaziale sarebbe un adattamento evolutivo correlato alle specifiche

esigenze cognitive associate alla caccia o alla navigazione in un territorio più ampio. Clint e colleghi (2012) sostengono, invece, un'ipotesi di effetto collaterale che non si basa sul concetto di adattamento evolutivo, la quale sarebbe ugualmente coerente con tutte le osservazioni portate avanti fino a questo momento. In particolare, il testosterone potrebbe aver causato le differenze nella cognizione spaziale come effetto collaterale non funzionalmente correlato allo sviluppo maschile, simile alla calvizie maschile, alle differenze nella lunghezza dell'anulare e dell'indice o alla frequenza e alla gravità dell'acne (Clint et al., 2012). Dall'altro canto, l'ipotesi della superiorità del maschio rispetto alla femmina nella navigazione spaziale come conseguenza di un adattamento evolutivo, sia nella specie umana che nelle altre specie animali, è largamente discussa e citata in letteratura. Jones e colleghi (2003) hanno evidenziato sette possibili spiegazioni per giustificare il dimorfismo sessuale nella navigazione spaziale risultanti dall'adattamento in base alla selezione naturale: dispersione maschile, fertilità femminile e cure parentali, foraggiamento maschile, foraggiamento femminile, dimensioni fisiche maschili e femminili, combattimento maschile e scelta femminile. La tesi esplicativa critica, per ciascuna di queste spiegazioni, converge in un unico concetto rappresentato dal significato adattativo della dimensione più ampia della fisicità maschile. Pertanto, le suddette ipotesi di adattamento prevedono che i maschi, soprattutto nelle specie che mostrano dimorfismo sessuale nell'abilità spaziale, abbiano maggiori dimensioni rispetto alle femmine. La misura più comune dell'abilità spaziale negli esseri umani è il test di rotazione mentale tridimensionale (Shepard and Metzler, 1971). Il test è considerato rilevante per la capacità di navigazione perché, per orientarsi correttamente, un navigatore deve identificare le caratteristiche ambientali indipendentemente dalla prospettiva. Silverman e colleghi (2000) hanno

scoperto che le prestazioni ai test di rotazione mentale erano fortemente predittive delle prestazioni nei compiti di navigazione nel mondo reale, come la capacità di tornare a una posizione di partenza dopo essersi spostati attraverso i boschi. I compiti di rotazione mentale mostrano anche la presenza di marcato dimorfismo sessuale. Linn e Petersen (1985) hanno trovato una forte dimensione dell'effetto per genere nei 172 studi analizzati e la metanalisi di Voyer e colleghi (1995) è di supporto al loro studio.

2.4.2 Le strategie adattative sesso-specifiche e l'apprendimento

Nash (1979) propone una teoria in cui ipotizza che le differenze cognitive, soprattutto in ambito visuo-spaziale, siano modulate dal ruolo sessuale. Reilly e Neumann (2013) nella loro metanalisi di 12 studi hanno esaminato l'identità del ruolo sessuale e le prestazioni di rotazione mentale, non trovando alcuna associazione tra femminilità e rotazione mentale. Secondo i dati delle National Science Foundation (2011) le donne sono sottorappresentate in campi di istruzione terziaria in scienze, tecnologia, ingegneria e matematica (STEM), pur se, paragonate al resto della popolazione, non evidenziano differenze nell'intelligenza generale (Halpern and Lamay, 2000; Neisser et al., 1996). Nash (1979) nella sua teoria *sex-role mediation*, sostiene che le differenze sessuali, mediate dal ruolo dell'identità sessuale, possano promuovere o inibire lo sviluppo ottimale delle capacità cognitive in domini altamente tipizzati di genere, come capacità spaziali e verbali. Nash (1979), basandosi sul precedente lavoro di Sherman (1967), sostiene nello specifico che l'identità maschile porta a sviluppare abilità spaziali, matematiche e scientifiche, mentre l'identificazione femminile facilita le abilità verbali e linguistiche e identifica, inoltre, meccanismi che contribuiscono ad

incoraggiare o scoraggiare lo sviluppo ottimale delle abilità spaziali. Ragazze e ragazzi differiscono nelle esperienze di socializzazione e sono incoraggiati dai genitori ad impegnarsi in giochi che essi ritengono appropriati per il loro genere (Nash, 1979). Tuttavia, il gioco è anche un'opportunità di coinvolgimento attivo e sviluppo cognitivo (Piaget, 1968). Pertanto, gli autori sostengono che l'abilità spaziale non sia solo spiegata da una differenza biologica, ma anche dalle differenze nella promozione della pratica delle attività e degli interessi legati al ruolo sessuale, con la conseguente scelta di percorsi con domini accademici differenti. Infatti, diversi studi, con campioni costituiti da giovani adulti di livello universitario, hanno dimostrato che esiste un'associazione tra capacità spaziali e preferenze di attività svolte (Baenninger and Newcombe, 1989). Tale associazione supporta l'ipotesi dello sviluppo delle abilità visuo-spaziali sostenuta da Nash (1979) ed ha aperto la strada ad ulteriori studi per investigare le associazioni tra processi cognitivi e sociali e differenze sessuali nelle abilità visuo-spaziali.

CAPITOLO 3

LA MISURAZIONE DELLE ABILITÀ SPAZIALI PER INDAGARE LE DIFFERENZE SESSUALI

3.1 La misurazione della cognizione spaziale

La cognizione spaziale rappresenta un ambito psicologico i cui concetti fondamentali non sono ancora stati misurati in modo affidabile (Brucato et al., 2022). Lohman (1979) enfatizza la necessità e l'importanza di creare dei test che possano misurare i diversi aspetti delle abilità spaziali. Una delle abilità consiste nell'assumere una prospettiva spaziale (*Perspective Taking -PT*), il che differisce dal rappresentare un punto di vista diverso dal proprio, utilizzato per l'orientamento spaziale (Lohman, 1979). A tal proposito, Brucato e colleghi (2022) nel loro studio si pongono due obiettivi. Il primo riguarda le proprietà psicometriche dei quattro test di prospettiva spaziale che esaminano - Four Mountains Task (FMT), Spatial Orientation Task (SOT), Perspective-Taking Task for Adults (PTT-A), and Photographic Perspective-Taking Task (PPTT), valutandoli con l'utilizzo della teoria della risposta agli items (IRT), incentrata su funzioni informative come la difficoltà, la discriminabilità e l'efficienza dell'oggetto. Il secondo obiettivo riguarda la valutazione della relazione dei punteggi dei test di PT con l'intelligenza generale, la *spatial working memory* e la rotazione mentale. I dati dei t test a campioni indipendenti evidenziano che i maschi hanno punteggi significativamente più alti delle femmine in tutti i compiti di PT. Inoltre, gli uomini hanno punteggi significativamente più alti rispetto alle donne nel MRT, mentre non sono state rilevate differenze statisticamente significative nelle

medie dei punteggi della *Spatial Working Memory* - SWM e dell'intelligenza generale. Esistono diversi fattori che possono intervenire nel modulare la misurazione e a questo proposito la letteratura ne evidenzia molteplici. Negli ultimi anni, con la ripresa degli studi delle teorie evuzionistiche, sono altrettanto numerose le metanalisi che si occupano di evidenziare le differenze sessuali nelle abilità spaziali in diversi contesti sperimentali in rapporto a fattori sociali.

3.1.1 Lo Spatial Orientation Test

Le differenze sessuali nei compiti di assunzione della prospettiva spaziale a favore dei maschi sono state ampiamente documentate in letteratura. Tarampi e colleghi (2016) indagano la possibilità che i fattori sociali, come la minaccia stereotipata e l'inclusione di figure umane nei compiti di navigazione, spieghino in qualche modo queste differenze attraverso uno studio composto da tre esperimenti. Nel primo esperimento, le prestazioni sono valutate con test che contengono informazioni sulla capacità di assunzione di prospettiva, sia spaziali che sociali. Nella condizione spaziale, i maschi manifestano un vantaggio rispetto alle femmine. Nella condizione sociale, i compiti sono stati modificati con l'inserimento di figure umane e in questa ultima condizione le donne mostrano un vantaggio nell'assunzione di prospettiva. I risultati, quindi, hanno evidenziato una differenza sessuale a favore dei maschi nella condizione spaziale, ma non nella condizione sociale. Il secondo ed il terzo esperimento mostrano che sia la minaccia stereotipata che l'inclusione di figure umane hanno contribuito agli effetti indicati dal primo esperimento. I risultati suggeriscono che le femmine potrebbero avere prestazioni inferiori nei test spaziali, in parte a causa delle aspettative

di prestazioni negative, ossia di una minaccia stereotipata e del carattere dei test spaziali, piuttosto che a causa dell'effettiva mancanza di abilità. La seconda ipotesi riguarda il fatto che le donne hanno delle performance meno accurate nella prospettiva visuo-spaziale proprio a causa della minaccia di uno stereotipo negativo che afferma a priori che le donne hanno peggiori performance degli uomini in questo ambito di abilità visuo-spaziali e pertanto esse possono risentire di tale convinzione sociale. La minaccia stereotipata potrebbe essere una conseguenza di questa identificazione di genere che determina un'impronta negativa nella loro performance. Per misurare le abilità di assunzione di prospettiva sono stati utilizzati l'*object-perspective/spatial-orientation test* – SOT (Hegarty and Waller, 2004) e lo *standardized road-map test of direction sense* (the road-map test; Money et al., 1965, modified by Zacks et al., 2000), entrambi somministrati con carta e penna. Nel SOT viene mostrata una serie di oggetti. Nella condizione spaziale, il partecipante è invitato ad immaginare di trovarsi al posto di un oggetto sulla mappa stando di fronte ad un secondo oggetto indicato nel test e gli viene richiesto di indicare la posizione di un terzo oggetto, come da indicazioni: “immagina di essere il gatto che è rivolto verso l'albero, indica dove si trova la macchina rispetto a te”. Sotto la serie di oggetti vi è un cerchio con una freccia che punta verso l'oggetto che i partecipanti immaginano di aver di fronte. I partecipanti devono disegnare una seconda freccia per indicare la direzione del terzo oggetto. Il test è lo stesso nella versione di condizione sociale, tranne per il fatto che è presente una figura umana di cui si deve assumere la prospettiva, invece che un oggetto. L'esperimento prevedeva la compilazione dell'AQ (Baron-Cohen et al., 2001), che consiste in un questionario di 50 domande, valuta la misura in cui gli adulti con intelligenza normale esprimono tratti associati al disturbo dello spettro autistico. Il

questionario valuta cinque tratti: abilità sociale, comunicazione, commutazione dell'attenzione, attenzione ai dettagli e immaginazione. La procedura prevede di testare i partecipanti in gruppi da 2 a 8 e di completare i test nella stessa sessione. Insieme ai test da completare ai partecipanti vengono fornite le due diverse informazioni. Nella condizione spaziale, l'abilità di presa di prospettiva può essere vista come una misura di abilità spaziale, dove l'abilità spaziale è intesa come l'abilità cognitiva per la comprensione delle relazioni tra gli oggetti e lo spazio, e la capacità di manipolarli mentalmente e di reagire correttamente. In questo tipo di somministrazione del test gli uomini ottengono dei punteggi più alti. Nella condizione sociale, l'abilità di presa di prospettiva può essere considerata una misura dell'abilità di empatia, e di conseguenza un'abilità sociale nell'identificarsi e nel comprendere ciò che l'altra persona sta vedendo o provando e di reagire in modo appropriato. Le femmine hanno solitamente punteggi più alti nelle misure di abilità dell'empatia. Dall'analisi dei risultati emerge che i punteggi dell'AQ non sono significativamente correlati con i punteggi di nessuno dei compiti di assunzione di prospettiva, il che significa che non esistono prove che questa misura moderi le prestazioni in entrambe le condizioni. Nel primo esperimento, le differenze di sesso nell'assunzione di prospettiva sono state eliminate quando i test sono stati entrambi inquadrati come misure dell'assunzione di prospettiva sociale e quando includevano figure umane. Questi effetti potrebbero essere dovuti alla minaccia dello stereotipo, alla presenza di figure umane nei test o ad entrambi. Per testare il contributo unico di ciascuno di questi fattori, sono stati condotti altri due esperimenti. Nel secondo esperimento sono state manipolate le istruzioni, ma i test sono stati mantenuti nel loro formato originale - senza figure umane. Nel terzo esperimento sono state mantenute le istruzioni standard,

ma è stata manipolata la presenza di figure umane nei test. Negli esperimenti successivi, è stato somministrato, inoltre, un questionario sulle differenze di genere, che è stato aggiunto per valutare gli stereotipi dei partecipanti in relazione alle differenze sessuali nelle capacità spaziali e nell'empatia. In sintesi, la ricerca ha confermato le differenze sessuali a favore dei maschi in due misure psicometriche dell'assunzione della prospettiva spaziale: il test di orientamento spaziale e il test della *road map*. Tuttavia, ha anche indicato che quando gli schemi sociali sono attivati dall'inclusione di una figura umana, queste differenze sessuali scompaiono, il che suggerisce che altre abilità possono essere sfruttate nei contesti sociali. Inoltre, lo studio indica che le differenze sessuali osservate nell'assunzione di prospettiva riflettono, almeno in parte, la minaccia dello stereotipo. Considerati insieme, questi risultati indicano che il modo in cui le persone misurano le abilità spaziali potrebbe sottovalutare le abilità femminili, una questione importante dato il crescente interesse per le abilità spaziali come predittori di risultati STEM (Humphreys et al., 1993). Lo studio di Geer e Ganley (2023) cerca di dare una spiegazione alternativa ai risultati di Tarampi e colleghi (2016) secondo cui, appunto, l'aggiunta di informazioni sociali migliorerebbe in modo univoco le prestazioni delle donne grazie alla loro migliore prospettiva sociale. Gli autori ipotizzano che i compiti con informazioni sociali forniscano anche informazioni spaziali, dando una spiegazione al miglioramento delle prestazioni. Lo studio con 278 studenti universitari di Geer e Ganley (2023) ha utilizzato le due versioni dei compiti – sia il SOT con nessuna informazione sociale o spaziale che il SOT con informazioni sociali e spaziali – e, inoltre, due versioni che isolano le sole informazioni sociali e le sole informazioni spaziali. In questo studio sono stati inclusi sia maschi che femmine. Esaminando le prestazioni dei maschi e

delle femmine in tutte e quattro le condizioni, si osserva che i maschi hanno migliori performance rispetto alle femmine. Inoltre, i partecipanti che hanno completato le attività con informazioni spaziali hanno ottenuto risultati migliori. I risultati suggeriscono che la differenza osservata da Tarampi e colleghi (2016) potrebbe essere dovuta all'inclusione di informazioni che possono essere definite spaziali, e non sociali, le quali migliorano nei compiti le prestazioni sia delle donne che dei maschi. I risultati suggeriscono che le prestazioni nell'assunzione della prospettiva spaziale sono migliori quando vengono forniti anche sottili segnali spaziali, ma che le informazioni sociali da sole non sembrano migliorare le prestazioni, nonostante i legami con l'assunzione della prospettiva sociale. Pertanto, lo studio fornisce una spiegazione delle differenze ponendo enfasi sulle maggiori indicazioni fornite dalle informazioni spaziali. Tarampi e colleghi (2016) sostengono che solo ed esclusivamente le donne possono mostrare un miglioramento nelle performance, in base alla teoria che afferma che le femmine posseggono abilità sociali superiori. A questo proposito Geer e Ganley (2023) fanno un'importante considerazione sostenendo che se si aggiungono riferimenti di contesto sociale, allo stesso momento si stanno fornendo ulteriori dettagli utili da un punto di vista dell'informazione spaziale. Il compito di assunzione della prospettiva si riferisce all'abilità di ognuno nell'immaginare di localizzare un'oggetto o di una persona. Inoltre, l'ambiente in cui si effettua la localizzazione si riferisce a diversi punti di osservazione che cambiano di volta in volta, mentre il proprio punto di osservazione non varia. Pertanto, la posizione immaginata dal soggetto cambia, ma le relazioni tra gli oggetti e l'ambiente restano stabili. Questo tipo di test dell'assunzione della prospettiva altrui potrebbe rappresentare ed implicare la capacità di assumere il punto di vista dell'altro in un'ottica di cooperazione ed interazione

sociale, piuttosto che una semplice visione di un ambiente spaziale. Numerosi studi suggeriscono, d'altro canto, la possibilità che il fatto di assumere la prospettiva altrui non sia limitata ad un contesto sociale, ma che in alcuni casi l'assunzione della prospettiva sia sottesa da un processo cognitivo separato, implicato nel proprio orientamento spaziale. Un interessante studio di Quesque e colleghi (2020) indaga i meccanismi correlati alla descrizione della scena in cui i partecipanti adottano una prospettiva egocentrica ed anche una prospettiva diversa dalla propria. Dallo studio non è emersa alcuna significativa differenza tra i generi nel riconoscimento di oggetti animati ed inanimati. Ciò è in contrasto con i risultati dello studio di Tarampi e colleghi (2016), i quali suggeriscono che le femmine siano appunto più abili nella localizzazione, in presenza di indicazioni sociali nel contesto, nel compito di assunzione della prospettiva spaziale. In conclusione, emerge la necessità di ulteriori studi che possano chiarire meglio tali aspetti, quali dinamiche siano in atto e come le diverse abilità possano essere collegate tra loro. In particolare, la figura umana rivolta verso una direzione potrebbe aiutare il partecipante ad orientare sé stesso in maniera più semplice nel compito. Geer e Ganley (2023) per dimostrarlo utilizzano due nuove condizioni per isolare i potenziali effetti dell'informazione sociale e spaziale separatamente, includendo una condizione con un'informazione spaziale, ma non sociale – contenente una freccia che punta in una direzione- e una con nessuna informazione spaziale ma sociale - con una figura che guarda il partecipante. Recentemente Gunalp e colleghi (2019) si sono chiesti se fattori non collegati ad aspetti sociali come la figura umana, per esempio direzione e agentività, fossero potenzialmente responsabili per il miglioramento della versione sociale nel compito di assunzione della prospettiva di Tarampi (2016). Gunalp e colleghi (2019)

suggeriscono che a prescindere dal genere, l'informazione direzionale è utile in una realtà virtuale di assunzione del compito della prospettiva, ma solo quando allo stesso tempo vengono forniti indizi di agentività come una figura umana, oppure viene incluso un oggetto non-agentivo, ma comunque più familiare di un altro, come una sedia, invece che una freccia. I ricercatori sostengono che la presenza di un indizio direzionale, per esempio una freccia da sola, è tanto di aiuto quanto la presenza di entrambi gli indirizzi direzionali e sociali (Gunalp et al., 2019). Lo studio presenta il test tramite realtà virtuale, non includendo la condizione soltanto sociale e dando ai partecipanti un unico compito. Il supporto non cartaceo rappresenta un limite nel momento in cui si confrontano i dati con gli studi che hanno somministrato i test con carta e penna. In conclusione, l'originale interpretazione di Tarampi (2016) è che l'abilità delle femmine nel compito di assunzione della prospettiva spaziale migliora quando viene incluso nel compito un contesto sociale rappresentato dalla figura umana, mentre l'ipotesi alternativa di Gunalp e colleghi (2019), invece, è che la nuova informazione spaziale è ciò che guida il miglioramento della performance e pertanto i risultati ottenuti non replicano i risultati dello studio originale di Tarampi (2016). Per testare ulteriormente la loro ipotesi, Gunalp e colleghi (2021) hanno ampliato il proprio lavoro includendo partecipanti maschi e ulteriori condizioni sperimentali al fine di districare le informazioni spaziali fornite dalle informazioni sociali, compresa una figura umana rivolta in una certa direzione. Nonostante sia stata utilizzata in parte la stessa procedura, dall'analisi dei dati si non evidenzia una replica dell'effetto. Le femmine nelle condizioni spaziali e sociali non hanno performance diverse rispetto alle condizioni non spaziali e non sociali. Nel compito con la figura della persona che è rivolta verso un secondo oggetto è possibile che questo fornisca nell'insieme delle

immagini una facilitazione nell'orientamento spaziale. Tra le possibili spiegazioni, particolare importanza riveste quella per cui è possibile che nello svolgimento del compito i partecipanti potrebbero adottare particolari strategie di rotazione mentale. Per questo motivo, l'utilizzo di un compito come il *Mental Rotation Test* – MRT (Vandenberg and Kuse, 1978; Shepard and Metzler, 1971) insieme potrebbe rivelare nuove evidenze e fornire presupposti per nuove ipotesi.

3.1.2 Il *Mental Rotation Test*

La prima versione del *Mental Rotation Test* (MRT) di Vandenberg e Kuse risale al 1978. Le versioni disponibili del test MRT (1978) hanno subito un deterioramento e per questo motivo sono disponibili solo copie delle precedenti copie. Il deterioramento delle copie dei test originali, così come delle successive copie dell'originale, ha indotto molti ricercatori a ritoccarne le figure. L'MRT è un test ampiamente utilizzato per valutare le abilità spaziali, è semplice da somministrare anche utilizzando carta e penna, si può adattare a più soggetti, superando anche le barriere culturali ed infine, l'entità dell'effetto è apprezzabile (Peters et al., 1995). La versione del MRT rivisitata da Peters e colleghi (1995) comprende quattro diverse versioni, basate sulle figure originali del test di rotazione mentale di Vandenberg e Kuse (1978), le quali sono a loro volta basate sui dati forniti da Shepard (Shepard and Metzler, 1971). Delle quattro versioni, contrassegnate con le lettere alfabetiche, l'MRT-A è originariamente composto da 24 items, costituite da figure cubiche tridimensionali progettate da Shepard e Metzler (1971). Ogni item ha una figura target mostrata a sinistra e quattro figure stimolo a destra tra cui effettuare una scelta, ci sono due versioni ruotate

della figura target corrette, mentre le altre due figure stimolo non corrispondono al target., sembra produrre la differenza sessuale più affidabile di tutti i test spaziali cartamata. Nell'uso del test è necessario tenere in considerazione due elementi, la pratica e il fattore preselettivo (Peters et al., 1995). Per quanto riguarda la pratica Casey e Brabeck (1989) hanno mostrato come una sola ripetizione del test produce un aumento piuttosto marcato nella performance, ma sembra che per quanto riguarda le differenze sessuali, queste seconda siano stabili tra la prima e la seconda somministrazione, sebbene tale constatazione necessiti di ulteriori verifiche. Per quanto riguarda il fattore preselettivo lo studio di Casey e Brabeck (1989) ha riscontrato differenze nelle performance di studenti appartenenti allo stesso istituto, ma con programmi accademici differenti. Studenti di matematica e di scienze avevano prestazioni migliori di chi non studiava matematica e scienze. Questo è uno dei motivi per cui la scelta dei partecipanti si rivela essenziale. Un altro aspetto da valutare è l'ipotesi che esista la possibilità che i test di prestazioni spaziali siano sensibili alla fase del ciclo mestruale nelle femmine. La letteratura fornisce numerosi esempi in merito, sebbene alcuni studi non abbiano utilizzato il MRT. I risultati di tali ricerche mostrano che i maschi eccellono in compiti di abilità spaziale rispetto alle femmine, le quali hanno prestazioni migliori quando i livelli di estrogeni sono più bassi, durante la fase mestruale (Kimura, 1996). In ogni caso, la versione del MRT rivisitata da Peters e colleghi (1995) produce differenze misurabili e replicabili tra i generi. Questo rende accettabile ed affidabile la versione del test. Inoltre, l'adattabilità e l'effetto apprezzabile della versione rivisitata del test MRT è un punto di partenza ideale, una volta considerato dell'effetto della pratica e del valore preselettivo. Esso rappresenta uno dei test più affidabili nella misurazione delle abilità di rotazione mentale (Peters et al., 1995). Uno studio di

Hirnstain e colleghi (2009) indaga la marcata differenza di genere nei risultati del MRT, sostenendo che essa è semplicemente il risultato di differenze sessuali nelle strategie di risposta. Trentaquattro partecipanti (17 maschi, 17 femmine) hanno completato Vandenberg e Kuse MRT (Peters et al., 1995). Oltre al test di Vandenberg e Kuse (1978) rivisitato da Peters e colleghi (1995), gli autori utilizzano una versione dove il numero di figure corrispondenti varia da 0 a 4 e i partecipanti devono abbinare ogni singola figura alla figura target, senza tralasciarne alcuna. Sia gli uomini che le donne mostrano prestazioni ridotte in tale versione modificata. Tuttavia, pur se la prestazione degli uomini in questa versione è chiaramente peggiore, i loro risultati sono, comunque, sempre più elevati rispetto a quelli delle donne - MRT originale: $d=.95$, MRT modificato: $d = .76$. Il test di rotazione mentale di Vandenberg e Kuse (1978) ridisegnato (Peters et al., 1995; Vandenberg and Kuse, 1978; Shepard and Metzler, 1971), sembra produrre la differenza sessuale più affidabile di tutti i test spaziali carta-matita (Voyer et al., 1995). Un numero crescente di prove suggerisce anche che le marcate differenze nella rotazione mentale sono, almeno in parte, guidate da diverse strategie cognitive. Ad esempio, mentre gli uomini sembrano utilizzare una strategia olistica, ovvero ruotano la rappresentazione dello stimolo nel suo insieme, le donne tendono a preferire una strategia analitico-verbale meno favorevole, ovvero, confrontano determinate caratteristiche piuttosto che l'intera figura del campione con la figura target (Geiser et al., 2006; Peters et al., 1995; Pezaris and Casey, 1991). Poiché la strategia analitico-verbale richiede più tempo, porta a prestazioni peggiori in compiti che includono limitazioni di tempo (Geiser et al., 2006; Heil and Jansen-Osmann, 2008). Uno studio di imaging funzionale di Jordan e colleghi (2002) conferma l'ipotesi per cui le donne tendono a preferire una strategia analitico-verbale.

La superiorità maschile attesa nell'originale MRT di Vandenberg e Kuse (1978) con una dimensione dell'effetto di quasi una deviazione standard ($d = .95$) è in linea con la dimensione media dell'effetto riportata dalla metanalisi (Voyer et al., 1995). Poiché l'MRT modificato richiede l'abbinamento di tutte le figure alternative alla figura target, il calo maggiore delle prestazioni MRT negli uomini suggerisce che gli uomini si affidano maggiormente alla strategia di risposta rispetto alle donne (Hirnstein et al., 2009). Voyer e Saunders (2004) avanzano un'idea simile concludendo che gli uomini hanno una maggiore propensione a indovinare rispetto alle donne (Peters, 2005). La versione originale del MRT, tuttavia, consente due diverse strategie di risposta. All'interno di ogni elemento, i partecipanti possono confrontare ognuna delle quattro figure con la figura target. Questa strategia di risposta non solo consente l'identificazione dei due stimoli corrispondenti, ma fornisce anche un doppio controllo per verificare se gli stimoli non corrispondenti non contrassegnati non trovano effettiva corrispondenza (strategia di risposta conservativa). In alternativa, i partecipanti potrebbero continuare immediatamente con l'elemento successivo, non appena scoprono entrambi gli stimoli corrispondenti, senza verificare i restanti stimoli non corrispondenti (strategia di risposta con salto). Sebbene la strategia conservativa debba determinare prestazioni più accurate, richiede comunque anche più tempo. La strategia di risposta a salti, d'altronde, richiede meno tempo, ma aumenta il rischio di avere tassi di errore più elevati. Tuttavia, dati i rigorosi limiti di tempo del MRT originale, la strategia di risposta a salti che richiede meno tempo, può risultare vincente (Hirnstein et al., 2009). I racconti dei partecipanti mettono in evidenza che le donne sono più prudenti nell'eseguire il MRT e che ricontrollano le loro risposte, mentre gli uomini tendono a scegliere la strategia di risposta a salti, ritenuta più rischiosa. Pertanto, i

partecipanti di sesso maschile probabilmente completano più elementi ed hanno quindi maggiori probabilità di ottenere un punteggio MRT più elevato. Se i racconti sono veritieri, le differenze sessuali in diversi studi MRT precedenti potrebbero semplicemente riflettere differenze nelle strategie di risposta, ovvero gli uomini non avrebbero prestazioni migliori in MRT di per sé, ma otterrebbero punteggi più alti a causa dell'elaborazione di più elementi entro il limite di tempo stabilito (Hirnstein et al., 2009). Peters e colleghi (1995) ipotizzano che, a causa della loro riluttanza a etichettare una figura come "non corrispondente", le donne possono dedicare più tempo ad assicurarsi che una figura non corrisponda. Tuttavia, lo studio di Voyer e Saunders (2004), basato sul MRT originale e che affronta direttamente la questione delle differenze sessuali nelle strategie di risposta, ha rivelato che gli errori negli uomini derivano principalmente dal contrassegnare le figure non corrispondenti, mentre gli errori nelle donne si verificano piuttosto dal lasciare le figure corrispondenti non contrassegnate. Gli autori hanno interpretato questo risultato in termini di una maggiore propensione a indovinare negli uomini rispetto alle donne. Dunque, se le donne utilizzassero realmente una strategia più conservativa, ci si aspetterebbe che facciano meno errori, ma anche che completino meno items. Di conseguenza, le differenze sessuali dovrebbero essere molto meno pronunciate o addirittura scomparire quando si considerano i punteggi relativi - rapporto tra item corretti e tentati - piuttosto che assoluti (Voyer and Saunders, 2004). Numerosi studi hanno testato questa ipotesi, ma i risultati sono contraddittori. In generale, sembra che le differenze sessuali nel test di rotazione mentale persistano anche quando viene utilizzato un punteggio relativo. Nello studio di Hirnstein e colleghi (2009) i partecipanti devono completare due compiti di rotazione mentale, l'MRT originale (Peters et al., 1995) e una versione

modificata, in cui il numero di figure corrette su quattro, non equivale sempre a due, ma varia in modo casuale tra zero e quattro. Questa modifica dell'attività impedisce ai partecipanti di utilizzare una strategia di risposta a salti, poiché in questo caso è necessario verificare ogni singola figura. Supponendo che una strategia a salti sia più comune negli uomini che nelle donne, gli autori ipotizzano che la versione modificata porti a una riduzione delle differenze sessuali nelle prestazioni di rotazione mentale. Il supporto all'idea che entrambi i sessi potrebbero utilizzare una strategia di risposta viene da uno studio di eye tracker di Alexander and Son (2007). Il dispositivo di tracciamento delle fissazioni oculari insegue i movimenti oculari di uomini e donne durante una versione computerizzata del MRT originale. Sia i maschi che le femmine si focalizzano più brevemente sull'ultima figura, ad indicare la loro attenzione è meno attratta da essa rispetto alle figure precedenti (Alexander and Son, 2007). Tuttavia, lo studio non ha riportato alcuna differenza sessuale per quanto riguarda le fissazioni oculari. Per quanto riguarda il fattore tempo, l'evidenza empirica è alquanto contraddittoria sul fatto che uomini e donne possano beneficiare del tempo a disposizione in equivalente misura, infatti, pare che le differenze sessuali nelle performance al MRT diminuiscano in funzione del tempo a disposizione per lo svolgimento del compito. Peters (2005), ad esempio, dimostra che concedere ai partecipanti il doppio del tempo porta a miglioramenti proporzionali in entrambi i sessi, per cui le differenze sessuali rimangono stabili. Tuttavia, in uno studio precedente Goldstein e colleghi (1990) evidenziano che un tempo illimitato per svolgere il compito annulla le differenze sessuali nel MRT. Per quanto riguarda la strategia di osservazione delle figure, Geiser e colleghi (2006) hanno dimostrato che gli uomini sono "rotatori" più veloci delle donne poiché, in media, identificano circa 3

item in più rispetto alle donne nell'MRT originale. Questo potrebbe essere il risultato del fatto che gli uomini sono più sicuri delle loro risposte iniziali rispetto alle donne e, quindi, non hanno bisogno di ricontrollare le loro risposte. Infatti, è stato dimostrato che una maggiore fiducia in sé stessi è correlata a una maggiore performance nella rotazione mentale (Cooke-Simpson and Voyer, 2007). La fiducia in sé stessi potrebbe, quindi, svolgere un ruolo fondamentale nello sviluppo delle differenze di sesso nelle strategie di risposta. Nel suo insieme, lo studio di Hirnstein e colleghi (2009), supporta l'idea che le strategie di risposta specifiche per sesso contribuiscano all'entità delle differenze di sesso nel MRT originale. Quando ai partecipanti è stato impedito di utilizzare una strategia di risposta a salti, la dimensione delle differenze sessuali si è ridotta a causa di un calo delle prestazioni più pronunciato negli uomini. In conclusione, le differenze sessuali riportate nel MRT originale (Peters et al., 1995; Vandenberg and Kuse, 1978) sembrano essere in parte dovute all'uso più frequente di una strategia di risposta a salti sia negli uomini che nelle donne. Kozhevnikov e Hegarty (2001) nel loro studio sviluppano una serie di test psicometrici sulla capacità di orientamento spaziale. Nella fase sperimentale, ai partecipanti viene mostrata una serie bidimensionale di oggetti e richiesto di immaginare di assumere una prospettiva all'interno della matrice e di indicare la direzione verso un oggetto target a partire dalla prospettiva assunta. Dall'analisi dei risultati emerge che la capacità di ruotare mentalmente e manipolare un oggetto immaginario, misurata da test di visualizzazione spaziale e la capacità di riorientare il sé immaginato, misurata da test di assunzione di prospettiva, sono due abilità spaziali distinte. I compiti di prospettiva portano a compiere errori dovuti all'egocentrismo, in cui il partecipante descrive gli oggetti dalla propria prospettiva, piuttosto che dalla prospettiva immaginata. In conclusione, la

ricerca indica che la capacità di manipolare mentalmente uno stimolo visivo da un punto di vista stazionario (capacità di manipolazione dell'oggetto) non riflettere una capacità di orientarsi nello spazio - capacità di orientamento spaziale. Hegarty e Waller (2004) indagano sulla distinzione tra le abilità mentali che richiedono una trasformazione spaziale di un oggetto percepito - rotazione mentale - e quelle che coinvolgono l'immaginazione di una scena da diversi punti di vista - assunzione di prospettiva. Sebbene dissociabili, le misure di presa di prospettiva e rotazione mentale spesso vengono considerate misurazioni simili. Tuttavia, lo studio non fornisce evidenze sulla possibilità di separare i fattori di visualizzazione spaziale da quelli di orientamento spaziale, sebbene letteratura cognitiva sperimentale indichi la presenza di una forte dissociazione tra compiti che dipendono dalla rotazione mentale ed i processi di assunzione di prospettiva. Il fattore di visualizzazione spaziale è concettualizzato come la capacità di effettuare trasformazioni spaziali basate su oggetti, dove le posizioni degli oggetti vengono spostate rispetto a un quadro di riferimento ambientale, ma il proprio quadro di riferimento egocentrico non varia. Al contrario, il fattore di orientamento spaziale è definito come la capacità di rendere egocentrici trasformazioni spaziali in cui il proprio quadro di riferimento egocentrico cambia rispetto all'ambiente, ma la relazione tra sistemi di riferimento basati su oggetti e ambiente non varia (Thurstone, 1950). In un importante metanalisi Carroll (1993) non è riuscito a trovare prove della differenza tra orientamento spaziale e visualizzazione spaziale. La capacità di assunzione della prospettiva è stata misurata attraverso una versione rivista del test della prospettiva dell'oggetto (Kozhevnikov and Hegarty, 2001), una versione del Money Standardized Test of Direction Sense (Money et al., 1965, modificato da Zacks et al., 2000) e un nuovo test sviluppato nel contesto

di tale studio chiamato test delle immagini. I risultati dei test per misurare abilità di assunzione di prospettiva e dei test di rotazione mentale, suggeriscono che la dissociazione tra test di presa di prospettiva e di rotazione mentale rifletta la distinzione tra la capacità di effettuare trasformazioni spaziali egocentriche - cioè, di immaginare il risultato del cambiamento del proprio quadro egocentrico di riferimento rispetto all'ambiente - e la capacità di fare trasformazioni basate su oggetti - ovvero, di immaginare il risultato del cambiamento delle posizioni degli oggetti nell'ambiente, pur mantenendo il proprio attuale orientamento nell'ambiente (Kozhevnikov and Hegarty, 2001). I test di presa di prospettiva, risolti prevalentemente immaginando trasformazioni spaziali egocentriche, possono essere distinti dai test di rotazione mentale, che si risolvono principalmente immaginando trasformazioni spaziali basate su oggetti (Kozhevnikov and Hegarty, 2001). In merito alle differenze di genere relative all'abilità visuo-spaziale, la teoria empatizzante-sistematizzante – *Empathizing Systeming* (teoria E/S) delle differenze sessuali (Baron-Cohen, 2002) ipotizza che i cervelli maschili e femminili adottino approcci diversi per comprendere il mondo. I cervelli maschili "*sistematizzano*" e tendono a comprendere le regole e le leggi di base che governano un sistema. I cervelli femminili "*empatizzano*" e sono spinti a comprendere e prevedere le emozioni in un'altra persona. Queste tendenze possono riflettere le pressioni evolutive che gli esseri umani hanno dovuto affrontare durante la storia evolutiva, inclusa la divisione del lavoro tra i sessi per la caccia e la navigazione spaziale, e la cura dei bambini (Baron-Cohen, 2002; Ecuver-Dab and Robert, 2004). Lo studio di Cook e Saucier (2010) dimostra l'esistenza di una relazione tra la rotazione mentale, la capacità di prendere la mira e pregiudizi cognitivi previsti dalla teoria E/S delle differenze sessuali. Inoltre, è il primo lavoro a riportare questo

risultato all'interno della letteratura che ipotizza che sia le capacità di empatia che di sistematizzazione sono predittive di un compito di rotazione mentale di successo. Inoltre, lo studio rivela una correlazione alquanto inaspettata tra l'empatia, la rotazione mentale e l'inferenza degli stati emotivi degli altri. Quest'ultima relazione è in qualche modo più forte negli uomini, suggerendo l'esistenza di una varianza condivisa tra il compito di rotazione mentale, in cui gli uomini mostrano tradizionalmente un vantaggio e la valutazione corretta delle qualità emotive (Cook and Saucier, 2010). Kozhevnikov e colleghi (2006) conducono uno studio composto da due interessanti esperimenti. Nel primo esperimento i partecipanti completano, oltre a compiti di tracciamento di percorsi, anche una versione del test di assunzione di prospettiva, in cui i partecipanti devono immaginare di trovarsi in una posizione di fronte a una seconda posizione e immaginare di indicare una terza posizione, così come nel SOT, immaginando infine, di ruotare la prospettiva dell'insieme. Nel secondo esperimento i partecipanti completano l'assunzione di prospettiva, il test di rotazione mentale e quattro compiti di navigazione su larga scala. I risultati hanno mostrato che l'attività di assunzione della prospettiva richiede un'abilità di trasformazione spaziale unica rispetto all'attività di rotazione dell'insieme e l'attività di acquisizione della prospettiva prevede una diversa abilità rispetto all'attività di rotazione mentale nelle attività di navigazione che richiedevano l'aggiornamento delle rappresentazioni da sé a oggetto. Le correlazioni tra i compiti di navigazione, la versione di assunzione della prospettiva e il compito di rotazione mentale di Shepard e Metzler (1971) mostrano che le prestazioni dei due compiti richiedono, comunque, l'uso di alcune risorse spaziali condivise. Le differenze nelle correlazioni tra i compiti di rotazione mentale e di assunzione della prospettiva e i compiti di navigazione, tuttavia, hanno mostrato che

anche i compiti di rotazione mentale e di assunzione della prospettiva richiedono ciascuno l'uso di risorse spaziali uniche.

3.2 L'influenza degli effetti ormonali sulle misurazioni delle abilità visuo-spaziali

Lo studio di Hampson e Kimura e colleghi (1992) evidenzia come la performance delle donne nei test spaziali varia in funzione della fase del ciclo mestruale, e quindi, in funzione dello stato ormonale. Le donne hanno una migliore performance durante il periodo mestruale, con estrogeni più bassi, rispetto al periodo medio del ciclo. La fase luteinica – o post-ovulatoria – va dall'ovulazione al primo giorno della mestruazione e generalmente dura dai 12 ai 14 giorni. L'inizio della fase luteinica – ossia il momento dell'ovulazione – dipende dalla durata complessiva del ciclo. Lo studio di Silverman e Phillips (1993) dimostra che le donne che assumono la pillola anticoncezionale hanno punteggi più alti rispetto a coloro che non la assumono, anche se con un'entità dell'effetto molto debole. Hampson e Kimura (1992) hanno valutato le partecipanti allo studio tra il terzo ed il quinto giorno del ciclo, per evitare eventuali interferenze dovute agli effetti del distress mestruale. I giorni 6-13 e 18-23 dovrebbero essere quelli di maggiore interesse perché queste sono le fasi dove i livelli di estrogeno dovrebbero essere più alti. Anche se lo studio di Silverman e Phillips (1993) non ha potuto replicare i dati dello studio di Hampson e Kimura (1992), per via del fallimento nel controllo della fase mestruale, i dati raccolti supportano il fatto che in qualche modo le migliori prestazioni risultano essere quelle delle donne che usano contraccettivi orali. Tuttavia, i possibili effetti dello stress e dei meccanismi di stress neurobiologico sulle capacità visuo-spaziali rimangono in gran parte sconosciuti. Cohen e colleghi (2020) indagano l'effetto combinato degli ormoni sessuali e dell'asse ipotalamo-

ipofisi-surrene (HPA-A) e del sistema nervoso simpatico (SNS) sui cambiamenti indotti dallo stress nelle prestazioni visuo-spaziali. Un totale di 107 partecipanti ha completato un compito di rotazione mentale, successivamente il Trier Social Stress Test (TSST) - una procedura di laboratorio utilizzata per indurre in modo affidabile lo stress nei partecipanti alla ricerca - oppure un test in condizione di controllo, prima di completare nuovamente il compito di rotazione mentale. La reattività HPA-A e SNS dei partecipanti è stata valutata misurando l'alfa amilasi salivare - sAA; un marcatore di attivazione SNS - e il cortisolo in quattro campioni di saliva. Sono stati misurati anche i livelli pre-stress degli ormoni sessuali: progesterone, estradiolo e testosterone. Il TSST ha migliorato le prestazioni di rotazione mentale e questo miglioramento è stato correlato negativamente con i livelli basali di estradiolo e positivamente correlato con il livello di reattività del cortisolo tra gli uomini. Inoltre, il controllo dei livelli basali di testosterone, estradiolo e progesterone ha diminuito l'effetto dello stress. Tali risultati implicano che la facilitazione indotta dallo stress delle prestazioni di rotazione mentale sia modulata dagli ormoni sessuali di base e forniscono un supporto preliminare all'idea che una complessa interazione tra ormoni sessuali e meccanismi di stress neuroendocrino media l'influenza dello stress sulle prestazioni visuo-spaziali (Cohen et al., 2020). Lo stress psicosociale migliora le prestazioni di rotazione mentale e questo miglioramento dipende dall'influenza congiunta dell'attivazione indotta dallo stress dell'HPA-A e del SNS e dai livelli basali degli ormoni sessuali. La reattività del cortisolo, in particolare, è positivamente associata al grado di miglioramento indotto dallo stress delle prestazioni di rotazione mentale tra gli uomini, e questo miglioramento indotto dallo stress è associato negativamente ai livelli basali di estradiolo (Cohen et al., 2020). I risultati emersi forniscono un supporto preliminare

all'idea che una complessa interazione tra ormoni sessuali e meccanismi di stress neuroendocrino abbia un ruolo importante nella facilitazione delle capacità visuo-spaziali in condizioni di stress (Cohen et al., 2020). Inoltre, prove neurofisiologiche e comportamentali suggeriscono che la corteccia prefrontale (PFC) possa essere sessualmente differenziata nei primati non umani (Duff and Hampson, 2001). Lo studio di Duff e Hampson (2001) indaga le differenze sessuali nella memoria di lavoro che potrebbero riflettere la differenziazione sessuale nella PFC umana. Lo studio ha evidenziato differenze sessuali in compiti di memoria di lavoro sia spaziale che verbale, che dimostrano come la funzione della PFC sia coerente con la possibilità che i processi della memoria di lavoro responsabili delle differenze sessuali siano quelli mediati dalla stessa, suggerendo la necessità di ulteriori studi per stabilire se gli estrogeni o gli androgeni siano responsabili delle differenze sessuali e per determinare se le differenze sessuali abbiano le sue origini negli effetti organizzativi o attivatori degli steroidi gonadici. Hampson (1990) sostiene che le differenze sessuali nelle capacità cognitive e motorie umane possono in parte essere dovute agli effetti organizzativi o di attivazione degli ormoni sessuali sul cervello. L'autrice utilizza un'ampia batteria di test cognitivi e motori, somministrandola a donne in due fasi del ciclo mestruale, al fine di rilevare eventuali cambiamenti nelle prestazioni mediati dagli ormoni. I risultati hanno confermato i cambiamenti durante il ciclo mestruale su una varietà di misure manuali e articolatorie rapide e su alcuni test non verbali/spaziali (Hampson, 1995). L'ipotesi sostiene che gli alti livelli di steroidi gonadici presenti nella fase luteinica del ciclo possono facilitare le abilità visuo-spaziali. Diversamente da ciò che ci si potrebbe aspettare, le variazioni attese durante il ciclo mestruale non erano evidenti per l'abilità spaziale, nonostante l'effetto marcato notato nella prima sessione di somministrazione

dei test. Il gruppo che ha ottenuto risultati migliori nella prima sessione ha mantenuto un vantaggio nella seconda, nonostante la presenza, in quel momento, di livelli ormonali elevati. Una possibile spiegazione di questa apparente mancanza di effetto ormonale è la possibilità che esistano effetti di trascinamento asimmetrici, quindi, i soggetti che inizialmente eseguono un test in uno stato fisiologico favorevole a buone prestazioni possono sviluppare migliori capacità per eseguire il test una seconda volta, anche se la ripetizione del test avviene in circostanze endocrine meno favorevoli (Hampson, 1990). Un'ampia letteratura ha dimostrato che gli uomini, in media, superano le donne nei compiti visuo-spaziali che richiedono la manipolazione mentale di forme geometriche, quali il MRT (Vandenberg and Kuse, 1978). Peragine e colleghi (2020) nel loro studio utilizzano il MRT e tengono conto delle diverse concentrazioni e trattamenti di steroidi ovarici e di come le prestazioni del MRT varino rispetto a questi cambiamenti. Diversi sono gli studi che descrivono prestazioni nelle abilità visuo-spaziali migliori tra le donne con estrogeni ridotti. Peragine e colleghi (2020) prendono in considerazione le fluttuazioni dell'attività ovarica attraverso le fasi follicolare precoce (EF), periovulatorie (PO) e medioluteinica (ML) del ciclo mestruale in individui designati come femmine alla nascita (FAB). Come negli studi precedenti tra cui la metanalisi di Voyer e colleghi (1995), si ipotizza una differenza sessuale nelle prestazioni del MRT. Inoltre, l'ipotesi presume che l'ambiente ormonale possa modulare le prestazioni del MRT e che i FAB possano avere le stesse prestazioni di quelli designati come maschio alla nascita (MAB) in condizioni di estrogeni ridotti. Come Voyer e colleghi (1995), anche Peragine e colleghi (2020) individuano una differenza sessuale nella prestazione al MRT con una dimensione dell'effetto forte, rappresentato da un d di Cohen=0,6. Tale effetto non prende in considerazione, però,

l'ambiente ormonale. Mentre se esso viene considerato, i risultati evidenziano che la prestazione di FAB nel MRT è più sfumata. Infatti, le prestazioni di FAB e MAB non differiscono nella fase a bassi livelli di estradiolo. Lo studio evidenzia, inoltre, una prestazione altrettanto elevata al MRT nei soggetti che ricevono una terapia ormonale a base di testosterone (TM+) e negli utilizzatori di contraccettivi orali (*OC users*), suggerendo interazioni complesse tra steroidi ed elaborazione visuo-spaziale. Pertanto, lo studio si rivela utile perché sottolinea che la mancata considerazione degli ormoni ovarici possa spiegare la dimensione della variabilità delle differenze sessuali nella prestazione al MRT, e che il vantaggio di MAB è condiviso da FAB a seconda dell'ambiente ormonale. Dunque, i dati confermano ed estendono i precedenti risultati in letteratura, dimostrando l'importanza della modulazione degli ormoni nella performance del MRT e sottolineando la necessità di ulteriori studi per ridefinire un modello per quanto riguarda le differenze sessuali nelle abilità visuo-spaziali (Peragine et al., 2020).

Lo studio di Courvoisier e colleghi (2013) utilizza un disegno longitudinale intensivo per esaminare se le prestazioni di rotazione mentale varino in base a un ciclo mensile sia nei maschi che nelle femmine e se queste variazioni siano correlate alle variazioni dei livelli di progesterone, estradiolo e testosterone. I dati raccolti riguardano i tempi di reazione e la precisione di 10 maschi e 7 femmine, misurati ogni giorno lavorativo per otto settimane utilizzando 136 coppie di stimoli di rotazione mentale al giorno e misurando le concentrazioni di ormoni sessuali salivari due volte a settimana. L'analisi statistica del modello lineare misto ha rivelato che tutte le femmine e i 7 maschi hanno mostrato effetti ciclici significativi nelle prestazioni di rotazione mentale. Per maschi e femmine, estradiolo e testosterone sono

significativamente correlati alla variazione interindividuale delle prestazioni all'inizio dello studio. L'associazione tra testosterone e prestazioni differisce tra i sessi. Verso la fine dello studio, nessuno degli ormoni è più correlato in modo significativo alle prestazioni. Pertanto, la relazione tra ormoni e prestazioni di rotazione mentale è scomparsa in seguito alla ripetizione dei test. Solo il livello di estradiolo risulta significativamente più alto nel punto più basso del ciclo nelle prestazioni di rotazione mentale (Courvoisier et al., 2013). Ciò non è congruente con altri risultati che trovano un'associazione non significativa tra il cambiamento del livello di testosterone e le prestazioni (Liben et al., 2002; Silverman et al., 2000). Lo studio di Courvoisier e colleghi (2013), evidenzia un'assenza di relazione tra il livello ormonale interindividuale e le prestazioni, alla fine della ricerca sperimentale. Tale assenza di relazione è stata considerata come diretta conseguenza della ripetizione stessa. Tuttavia, un altro studio sperimentale, che non include misurazioni ripetute, sostiene che un aumento artificiale del testosterone migliori le capacità visuo-spaziali (Aleman et al., 2004). Pertanto, un cambiamento nel livello di testosterone ha portato a migliori prestazioni delle abilità visuo-spaziali. Ulteriori ricerche potranno fornire spiegazioni per comprendere meglio tale discrepanza nei risultati. In conclusione, dallo studio longitudinale di Courvoisier e colleghi (2013), emerge che le differenze interindividuali nelle prestazioni all'inizio dello studio sono associate ad estradiolo e testosterone per i maschi e ad estradiolo, progesterone e testosterone per le femmine. Tuttavia, alla fine dello studio, non si è riscontrata alcuna associazione tra gli ormoni sessuali e le prestazioni di rotazione mentale. Inoltre, le differenze intraindividuali nelle prestazioni erano correlate solo ai cambiamenti nei livelli di estradiolo (Courvoisier et al., 2013). Diversi studi hanno riportato, infatti, che le prestazioni nei

test di rotazione spaziale sono migliori durante le mestruazioni rispetto alle fasi ad alto estradiolo del ciclo mestruale. Tuttavia, la maggior parte di questi effetti è oggetto di dibattito, in quanto quasi tutti i rapporti sulla variabilità del ciclo mestruale sono basati su un singolo test, il MRT (Vandenberg and Kuse, 1978). Hampson e colleghi (2014) indagano le caratteristiche chiave dell'MRT che potrebbero essere responsabili della sua associazione con i livelli di estradiolo. L'ipotesi prevede che le associazioni possano essere dimostrate per altri compiti che condividono le stesse caratteristiche. Il campione composto da 44 donne di età compresa tra 20 e 38 anni, abbinate per istruzione e abilità generali, sono state valutate a stadi di estradiolo bassi (n=24) o alti (n=20) del ciclo mestruale su una serie di test spaziali che variano in dimensioni, piano di rotazione, disparità angolare e sforzo. Per quantificare i livelli di estradiolo e progesterone sono stati utilizzati dei test salivari. Le evidenze mostrano un basso livello di estradiolo associato a una precisione significativamente migliore sul MRT e anche su un compito di rotazione mentale che richiede ampi angoli di rotazione, ma utilizza solo rappresentazioni di oggetti bidimensionali e rotazioni limitate al piano dell'immagine. Al contrario, un'attività che utilizza stimoli identici, che richiedono solo piccoli angoli di rotazione, non mostra un effetto legato all'estradiolo. I risultati confermano che l'effetto dell'estradiolo non è limitato al MRT, ma identificano l'elemento rotazionale e gli aspetti della percezione delle figure, come possibili processi la cui risposta può essere correlata al livello di estrogeni. I risultati illustrati contribuiscono all'avanzamento nella comprensione del fenomeno, in quanto mostrano una correlazione tra livelli di estradiolo e processi spaziali discreti (Hampson et al., 2014).

3.3 Differenze sessuali nella navigazione spaziale: interferenza articolatoria e spaziale

Secondo Saucier e colleghi (2003) è più probabile che le donne utilizzino strategie basate su punti di riferimento durante la navigazione spaziale e che siano più abili nell'utilizzare questo tipo di strategia. Questo significa che le donne hanno una memoria migliore nell'identificare e localizzare i punti di riferimento – *landmark* – nell'ambiente di navigazione, mentre gli uomini tendono ad avere una maggiore conoscenza delle proprietà euclidee dell'ambiente – *Euclidean-based* (Galea and Kimura, 1993). La causa di questo comportamento sessualmente dimorfico è al momento sconosciuta. Tuttavia, questo comportamento avvalorava le teorie evoluzionistiche in merito alle differenze sessuali nelle abilità di navigazione spaziale. La ricerca di Saucier e colleghi (2003) richiede ai 79 studenti partecipanti di navigare in una matrice secondo delle istruzioni basate su punti di riferimento (*landmark-based*) o su coordinate euclidee (*Euclidean-based*) per la navigazione, per esempio distanze e direzioni cardinali all'interno della matrice. Durante la navigazione, i partecipanti sono stati sottoposti a condizioni di interferenza articolatorie o spaziali. L'interferenza articolatoria ha compromesso selettivamente la capacità delle donne di navigare correttamente, indipendentemente dal tipo di istruzione di navigazione fornita. Le prestazioni degli uomini non sono state influenzate in modo differenziale dai due tipi di interferenza. Questo risultato suggerisce che le donne fanno affidamento sulle informazioni linguistiche in misura maggiore rispetto agli uomini durante la navigazione, indipendentemente dal tipo di istruzione di navigazione fornita. Quando si danno istruzioni di navigazione ad altri, gli uomini usano più direzioni cardinali come nord o sud e le donne usano descrizioni più topologiche/di riferimento come

edifici e altri oggetti visivi lungo un percorso (Galea and Kimura, 1993). Inoltre, gli uomini usano descrittori più misurabili empiricamente come le stime del chilometraggio (Galea and Kimura, 1993). La navigazione nella matrice richiede l'utilizzo della memoria di lavoro – *working memory* – e di due suoi subsistemi, il taccuino visuo-spaziale e il loop fonologico (Baddeley, 1986). Sembra ragionevole sostenere che le istruzioni *Euclidean-based* possano fare più affidamento sul taccuino visuo-spaziale, piuttosto che sul loop fonologico. Nel compito di navigazione con matrice bidimensionale l'ambiente di navigazione consiste in una griglia laminata di 25x23 cm, con ciascuna cella contenente un simbolo e dieci simboli appaiono 10 volte all'interno della matrice. Ogni sessione inizia da un *marker* predeterminato situato al di fuori della matrice 2D e le istruzioni consistono in tre istruzioni direzionali e una domanda di destinazione. Un esempio di istruzione direzionale della versione *Euclidean-based* è il seguente “Muovi a nord di 3 spazi, muovi a est di 7 spazi, muovi a nord di 5 spazi. Quale simbolo è più vicino al tuo est?” Un esempio di istruzione direzionale nella versione *landmark-based* è il seguente: “Partendo dal passaggio in alto al ‘simbolo’, vai a destra al ‘simbolo’, vai in basso al ‘simbolo’. Quale simbolo è alla tua sinistra?” Il numero dei blocchi da completare erano due, di trenta prove ciascuno. Tutte le prove all'interno di un blocco richiedono ai partecipanti di navigare seguendo istruzioni *Euclidean-based* o *landmark-based*. L'ordine del tipo di istruzione è stato controbilanciato tra i partecipanti. Nel momento in cui i partecipanti navigano seguendo le istruzioni *Euclidean-based*, il nord e il sud sono contrassegnati nella parte superiore e inferiore della matrice. Per garantire la comparabilità tra i due tipi di ambienti, quando i partecipanti navigano seguendo le istruzioni *landmark-based* l'indicazione utilizzata è “su”, in sostituzione del nord e “giù” in sostituzione del sud

nella parte superiore e inferiore della matrice. Per escludere che i partecipanti possano utilizzare una strategia non intenzionale, come, ad esempio, segni fatti da altri sulla matrice, non è permesso di toccare o indicare la pagina. L'esperimento prevedeva, inoltre, un'interferenza articolatoria e una verbale. Durante l'interferenza articolatoria ai partecipanti veniva richiesto di ripetere continuamente a voce alta i giorni della settimana. Con questo tipo di interferenza i partecipanti eseguono il compito della matrice con le indicazioni di navigazione basate su punti di riferimento - *landmark-based*. Durante l'interferenza visuo-spaziale i partecipanti toccano continuamente con la mano sinistra un pattern spaziale che era segnato sul tavolo a sinistra della matrice, mentre leggono le istruzioni di navigazione ed indicano la risposta al test con la mano destra. Mentre toccano il modello eseguono anche il compito di navigazione della matrice seguendo le istruzioni con indicazioni *Euclidean-based*. L'analisi dei risultati distingue il genere (M/F) e il tipo di interferenza (VS visuo-spaziale, A uditiva) nei due diversi compiti di navigazione. I risultati indicano una significativa interazione a tre vie tra genere, tipo di istruzioni di navigazione e tipo di interferenza. L'analisi evidenzia una interazione significativa tra il tipo di istruzione di navigazione ed il genere, con un effetto principale del tipo di istruzione di navigazione. Come previsto dall'ipotesi, nelle donne che eseguono le istruzioni *landmark-based*, l'interferenza articolatoria ha ridotto significativamente le loro prestazioni, abbassandole al livello di quelle degli uomini, in entrambi i tipi di interferenza. Tuttavia, l'interferenza articolatoria, ma non l'interferenza visuo-spaziale, riduce, inoltre, significativamente le prestazioni delle donne che hanno seguito le istruzioni *Euclidean-based*. Infine, non sono emerse prove che evidenziano un'influenza dell'interferenza visuo-spaziale o

articolatoria in modo differente sulle prestazioni degli uomini nel compito di navigazione della matrice, in ogni tipo di istruzioni (Saucier et al., 2003).

Capitolo 4

IL PRESENTE STUDIO SPERIMENTALE: PROCEDURA E METODOLOGIA

4.1 Metodi

Lo studio sperimentale è stato condotto presso il Dipartimento di Fisiologia Umana della facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università degli Studi di Sassari, che ha messo gentilmente a disposizione un'aula per lo svolgimento dell'esperimento per tutta la sua durata. Questo studio si propone di ridurre sperimentalmente le differenze sessuali riportate dalla letteratura scientifica in alcuni processi cognitivi legati alle abilità visuo-spaziali, quali la rotazione mentale di oggetti tridimensionali, attraverso l'utilizzo del *Mental Rotation Test - MRT* (Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R., and Richardson, 1995; Vandenberg and Kuse, 1978; Shepard e Metzler, 1971), i cui esempi sono rappresentati nella fig.1 e l'assunzione della

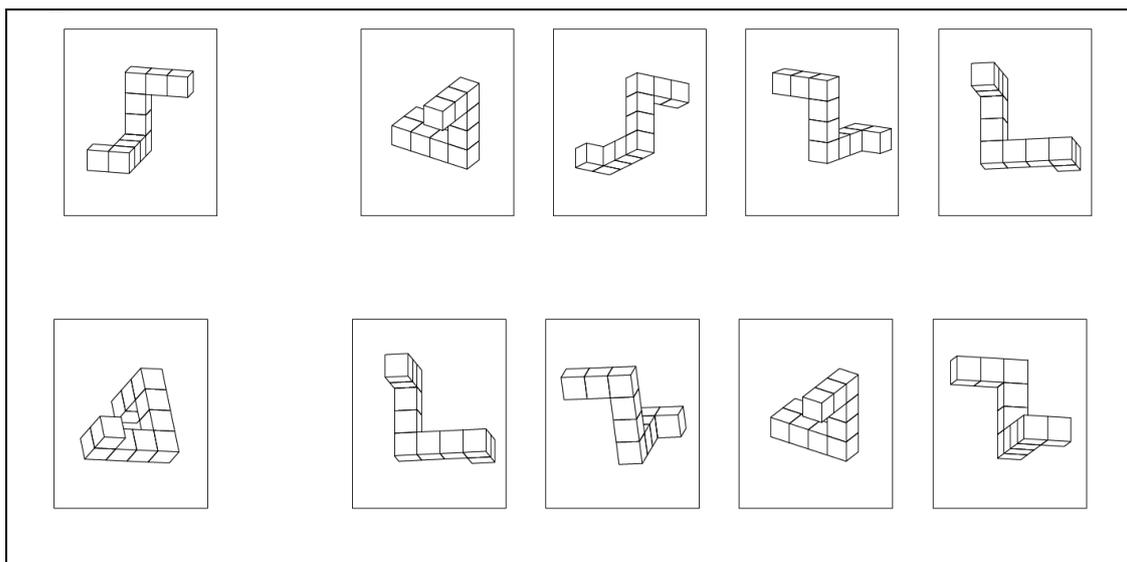


Figura 1 MRT-A (Peters et al., 1995)

prospettiva nello spazio con l'utilizzo dello *Spatial Orientation Test* – SOT (Hegarty and Waller, 2004), vedi figura 2.

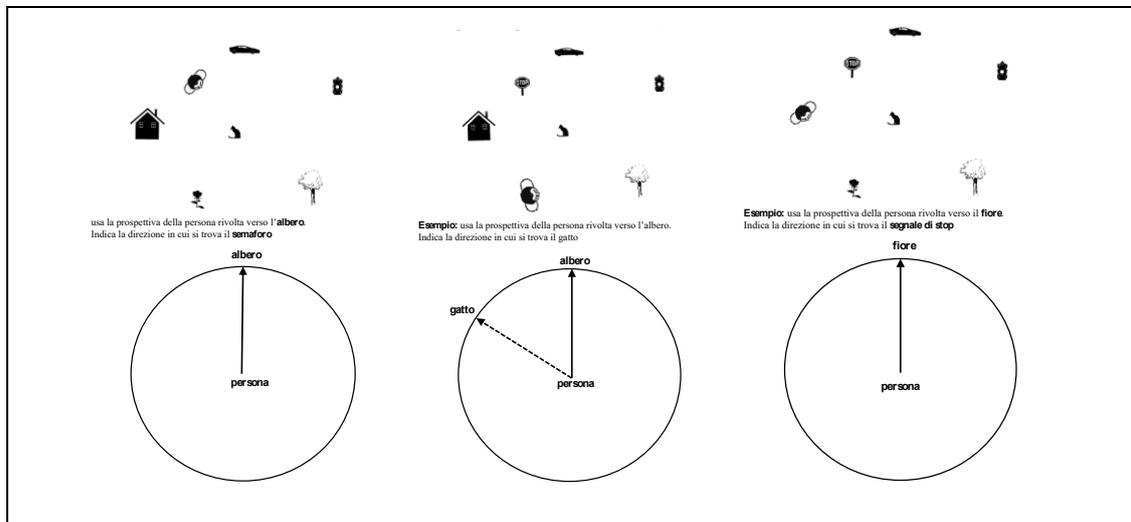


Figura 2 SOT (Hegarty and Waller, 2004)

La misurazione delle abilità di rotazione mentale di oggetti tridimensionali è potenzialmente correlata con l'abilità di navigazione spaziale, mentre il compito di assunzione di prospettiva fornisce un parametro per comprendere l'abilità di localizzazione di oggetti nello spazio. Per ridurre sperimentalmente le differenze sessuali si è cercato di creare un carico cognitivo sulla *working memory* utilizzando dei compiti di interferenza.

4.1.1 Partecipanti

I partecipanti sono stati reclutati mediante passaparola, social media e volantini affissi in luoghi pubblici, prevalentemente sedi e biblioteche dell'Università degli Studi di Sassari. L'obiettivo minimo era quello di reclutare 30 soggetti, di cui 15 maschi e 15 femmine. Tuttavia, è stato possibile reclutare 46 soggetti, studenti universitari, 20 maschi e 26 femmine, con una età compresa tra i 20 e i 35 anni.

4.2 Materiali

Nella fase di ricerca è stata richiesta la compilazione di alcuni questionari. Un questionario demografico, indicante oltre alle informazioni personali, anche una breve storia legata agli studi e alle preferenze sulle materie affrontate, con la richiesta della preferenza per materie letterarie o scientifiche. Ulteriori domande sono rivolte a quantificare la frequenza dell'utilizzo dei video giochi e/o mattoncini assemblabili (Lego), l'utilizzo di mezzi di trasporto - se proprio o altrui, ore di sport praticato, assunzione di prodotti nutraceutici ed utilizzo di contraccettivi ormonali - per quanto riguarda le donne. Inoltre, le donne hanno compilato un questionario ginecologico per comprendere la storia dello sviluppo e la regolarità del ciclo mestruale. Per misurare l'entità dei tratti autistici degli adulti è stato utilizzato l'*Autism-Spectrum Quotient*, (AQ), di Baron-Cohen (2001). Come nello studio di Tarampi e colleghi (2016) sono state raggruppate due sottocategorie del questionario: le abilità sociali e la comunicazione, al fine di avere un unico punteggio per valutare possibili correlazioni delle abilità sociali con le performance nelle abilità visuo-spaziali. I punteggi così variano da 0 a 20 e a punteggi più alti corrispondono minori abilità sociali. Tutti i partecipanti hanno aderito allo studio sottoscrivendo il Consenso Informato di Partecipazione alla Ricerca e l'Informativa sulla Privacy. Per quanto riguarda la misurazione delle abilità cognitive legate alla navigazione spaziale sono stati utilizzati due test, il *Mental Rotation Test* (MRT) e lo *Spatial Orientation Test* (SOT), rispettivamente per le capacità di navigazione e per l'assunzione di prospettiva. Tutti i questionari ed i test sono stati somministrati con l'utilizzo di carta e penna.

4.2.1 Mental Rotation Test

Il MRT produce differenze misurabili e replicabili tra i generi, quindi, questo rende il test particolarmente affidabile. La specifica versione del test rivisitata di cui esistono quattro diverse versioni (Peters et al., 1995), è basata sulle figure originali del test di rotazione mentale di Vandenberg e Kuse (1978), che fanno riferimento alle immagini fornite da Shepard e Metzler (1971). Delle quattro versioni del MRT (Peters et al., 1995) si è scelto di somministrare il MRT-A. Il MRT-A è composto da 24 item. Ogni item ha una figura target mostrata a sinistra e quattro figure stimolo presentate a destra, di cui solo due sono versioni ruotate della figura target, mentre le altre due figure stimolo non trovano corrispondenza con la figura di riferimento. Esistono due modi di attribuzione del punteggio. Il primo assegna un punto per ogni risposta corretta e sottrae un punto per ogni risposta errata. Ciò produce un massimo di 48 punti. L'altro metodo di attribuzione del punteggio assegna un solo punto se vengono identificate correttamente entrambe le figure stimolo che corrispondono alla figura target. Ciò significa che il punteggio massimo ottenibile in questo caso è di 24 punti. Peters e colleghi (1995) nel loro studio hanno presentato il test suddividendo gli item in 2 parti contenenti stesso numero di item, 12 e 12, attribuendo un tempo per la compilazione di ciascuna parte di 3 minuti con 2 minuti di pausa tra le due parti (è possibile assegnare 4 minuti di tempo, specificandolo, ovviamente, nella procedura). Il nostro esperimento, composto da tre diverse condizioni, necessita di tre versioni del test da somministrare per ogni condizione. Considerando che nel MRT-A il numero totale degli item è 24 e che si è deciso di allocare 10 item ad ogni condizione sperimentale, alcuni item dovranno essere riutilizzati. La decisione dei 2 nuovi item da allocare è

stata definita mediante una procedura randomizzata, in cui un item non potrà comparire più di due volte in tutto il test. Qui di seguito la lista di item da utilizzare in ogni condizione:

Controllo (MRT-1): 1a 2a 3a 4a 5a 6a 7a 8a 16a 18a

Spatial tapping (MRT-2): 9a 10a 11a 12a 13a 14a 15a 16a 5a 20a

Verbal activity (MRT-3): 17a 18a 19a 20a 21a 22a 23a 24a 9a 7a

Per quanto riguarda il tempo, avendo preso in considerazione che due delle tre condizioni si svolgevano con un *load* cognitivo, ai partecipanti è stato messo a disposizione un tempo pari a 4 minuti per il completamento di ognuna delle tre parti, intervallato da 2 minuti di pausa. Infine, la modalità del punteggio di scelta consiste nell'attribuire un punto ad ogni item, solo nel caso in cui entrambe le figure contrassegnate dal partecipante siano corrette. La modalità di somministrazione in base alle istruzioni è la stessa indicata dall'articolo di Peters, Laeng, Latham, Jackson e Richardson (1995) sull'edizione rivisitata del Vanderberg e Kuse Mental Rotation Test (1978; Shepard and Metzler, 1971), adeguata alla nostra procedura e riportata di seguito. Si inizia con una fase di prova. È noto che il MRT è sensibile a precedenti esposizioni al test, per questo motivo ai soggetti non sono state date maggiori informazioni prima dell'inizio della prova rispetto a quelle disponibili nelle prime due pagine introduttive. Lo sperimentatore invita i soggetti a guardare la prima pagina, facendo notare che le cinque figure rappresentate corrispondono alla stessa figura, ruotata attorno all'asse verticale. Lo sperimentatore per illustrare l'asse di rotazione utilizza dell'estensione verticale della mano, inclinandola. I partecipanti pregati di accertarsi che tutte le versioni mostrate corrispondano alla stessa figura ruotata. Successivamente i soggetti sono invitati a controllare il set successivo, dove sono

mostrate due figure, anch'esse ruotate sul proprio asse verticale. Lo sperimentatore sottolinea che le due figure sono identiche tra loro, ma sono differenti dal primo set di cinque figure. A questo punto viene descritta verbalmente ai soggetti la natura del compito da svolgere. "Vedi una figura a sinistra e quattro figure a destra". "Delle quattro figure sulla destra solo due rappresentano delle versioni ruotate della figura target a sinistra, mentre le due figure delle quattro a sinistra non corrispondono alla figura a destra, ossia a quella di riferimento. A questo punto, in riferimento al primo problema, viene chiesto al partecipante di individuare quali due figure sono quelle corrette, segnandole con una X, e a seguire vengono confermate le risposte corrette. Si fornisce, poi, l'ulteriore informazione che per ottenere un punto è necessario trovare tutte e due le risposte corrette, ossia individuare entrambe le figure corrispondenti al target, per ogni serie di immagini. Una sola risposta corretta o una risposta corretta e una sbagliata non danno alcun punteggio. Si invita, nuovamente, il partecipante a fornire le risposte ad altre 3 prove in 5 minuti, così da avere il tempo di abituarsi al compito. Le soluzioni delle 3 prove si trovano alla fine della prova. Finita questa fase inizia il test vero e proprio e lo sperimentatore ricorda al partecipante che ci sono due e solo due soluzioni corrette, da fornire mettendo una X sulla figura corretta. Lo sperimentatore illustra la situazione in cui viene svolto il compito a seconda della condizione sperimentale, ossia la fase di controllo – MRT-1, la fase con l'interferenza generata dallo *spatial tapping* – MRT-2, oppure quella con l'interferenza verbale – MRT-3. Inoltre, viene specificato che ci sono dieci problemi da risolvere, cinque per pagina, con un tempo massimo a disposizione di quattro minuti e che lo sperimentatore indicherà solamente quando sono passati i primi due minuti. Tra una condizione sperimentale e l'altra vengono concessi due minuti di pausa.

4.2.2 Spatial Orientation Test

Il SOT (Hegarty and Waller 2004) segue le indicazioni e parte della procedura descritta ed utilizzata nello studio di Tarampi e colleghi (2016). Il SOT presume che un soggetto utilizzi la prospettiva di un altro per individuare un oggetto nello spazio. Per il nostro studio abbiamo optato per l'utilizzo della versione sociale del test, dove per ogni item viene mostrata l'immagine di una figura umana rivolta verso un oggetto. La richiesta del compito riguarda l'assunzione di tale prospettiva. Il partecipante per tutti gli 8 item del compito deve tracciare una freccia all'interno di un cerchio dove al centro deve immaginare di essere la figura umana indicata nella parte superiore nell'insieme dei vari oggetti. La parte superiore di ogni foglio contiene una serie di oggetti e una figura umana rivolta verso uno di essi. Il partecipante legge la consegna che fornisce il nome dell'oggetto da identificare assumendo la prospettiva della persona. Nella parte inferiore del foglio vi è un cerchio, nel cui centro va immaginata la prospettiva assunta e con di fronte l'oggetto verso cui è rivolta. Il partecipante traccia una freccia per indicare dove si trova il terzo oggetto rispetto all'assunzione di prospettiva della figura umana (come da consegna indicata per iscritto nel foglio stesso). Per quanto riguarda SOT, gli item, originariamente 12 (Hegarty and Waller 2004), sono stati suddivisi tra le tre condizioni in modo tale che gli angoli di orientamento fossero controbilanciati, aggiungendo per ogni condizione denominate: SOT-1, SOT-2 e SOT-3, ulteriori nuovi 12 item, 4 per ogni condizione così come riportato di seguito:

1. Condizione di Controllo (SOT-1)

Quadrante 1: items 3 originale (83°) e n1 nuovo (25°)

Quadrante 2: item 5 originale (319°) e n1 nuovo (295°)

Quadrante 3: item 8 originale (260°) e n1 nuovo (215°)

Quadrante 4: item 4 originale (156°) e n3 nuovo (96°)

2. Condizione sperimentale di interferenza con *spatial tapping* (SOT-2)

Quadrante 1: items 10 originale (48°) e n2 nuovo (12°)

Quadrante 2: item 7 originale (333°) e n2 nuovo (318°)

Quadrante 3: item 2 originale (237°) e n2 nuovo (210°)

Quadrante 4: item 12 originale (150°) e n2 nuovo (128°)

3. Condizione sperimentale di interferenza con *verbal activity* (SOT-3)

Quadrante 1: items 11 originale (26°) e n3 nuovo (37°)

Quadrante 2: item 9 originale (275°) e n3 nuovo (345°)

Quadrante 3: item 6 originale (235°) e n3 nuovo (227°)

Quadrante 4: item 1 originale (247°) e n1 nuovo (144°)

Il tempo massimo consentito per lo svolgimento del compito è pari a tre minuti, con un minuto di pausa tra una condizione e l'altra. Per la valutazione dei risultati dei test è stata applicata la stessa correzione utilizzata e fornita con gentile disponibilità da Margaret Tarampi (Tarampi et al., 2016), il cui procedimento è riportato a seguire. Il punteggio del test è la deviazione angolare media - errore assoluto - delle risposte del partecipante, mediata tra gli 8 elementi del test – gli elementi che nello studio di Tarampi e colleghi (2016) erano 12. Quando si assegna un punteggio alla risposta, è necessario innanzitutto tracciare una linea di adattamento migliore sulla risposta del partecipante. Partendo dalla linea 0° nella parte superiore del cerchio si usa un goniometro per misurare l'angolo della risposta in senso orario. La misura dell'angolo della risposta del partecipante viene sottratta dalla misura dell'angolo della risposta

corretta. La deviazione angolare (errore angolare) è, quindi, questa differenza in valore assoluto. Se la deviazione angolare di un elemento supera i 180°, deve essere sottratta da 360° per determinare la deviazione più piccola possibile. Questo perché la deviazione angolare tra due angoli non supera i 180 gradi. Se un partecipante non completa un elemento, lasciandolo in bianco, gli viene assegnata una deviazione angolare di 90° per quell'elemento (90° rappresenta la prestazione casuale, dato che la deviazione angolare può variare da 0 a 180°). Il punteggio complessivo del partecipante viene calcolato come deviazioni angolari medie per tutti gli 8 elementi (ovvero la somma delle deviazioni angolari per gli 8 elementi, divisa per 8).

4.3 Procedura sperimentale

Lo studio si basa su un disegno sperimentale, *within subjects*, per misure ripetute in tre diverse condizioni che si svolgono con gli stessi limiti di tempo. Per le tre condizioni 4 minuti per ognuno dei MRT-1-2-3, intervallati da 2 minuti di pausa, mentre per il SOT 1-2-3 il tempo è di 3 minuti con 1 minuto di pausa.

1. Condizione di controllo, dove il partecipante completa i test in condizioni di normalità, senza alcuna manipolazione.

2. Condizione di carico cognitivo basato sul *dual task spatial tapping* (interferenza spaziale-motoria), che ha l'obiettivo di influenzare il *Visual Spatial Sketch Pad* (VSSP). In questa condizione è stato utilizzato uno strumento elettronico definibile come un "conta punti" al fine di poter registrare il numero dei click. Al partecipante è stato richiesto di cliccare sul dispositivo con la cadenza di un click al secondo, mentre con l'altra mano, contemporaneamente, completa i test, nei limiti di tempo stabiliti.

3. Condizione di *load* cognitivo basata sull'interferenza verbale: in questa fase il partecipante ripete ad alta voce i giorni della settimana, continuamente ed ininterrottamente sino alla fine dello svolgimento del test. I soggetti sono stati assegnati in modo casuale alle tre condizioni, seguendo un approccio di controbilanciamento parziale - *partial counterbalancing*. Questa manipolazione facilita l'esecuzione del test per entrambi i sessi evitando, così, effetti di *flooring* durante le manipolazioni. Il controbilanciamento è stato fatto come segue:

A: controllo; B: *spatial tapping*; C: *verbal activity*.

A→B→C B→C→A C→A→B

In questo modo ogni condizione è presente almeno una volta in ogni posizione - iniziale, centrale e finale. Nella sessione i soggetti dovranno essere bilanciati per genere - 1/3 delle donne farà ABC; 1/3 farà BCA e 1/3 farà CAB; e questo vale anche per gli uomini. Inoltre, verrà controbilanciata anche la sequenza tra MRT e SOT, in modo che per ogni genere vi sia un numero uguale di individui che inizia la prova con il MRT, mentre l'altra metà degli individui inizia la prova con il SOT.

Soggetto	Sesso	MRT1	MRT2	MRT3		SOT1	SOT2	SOT3
2	F	4	5	6		1	2	3
4	F	6	4	5		3	1	2
6	F	2	3	1		5	6	4
8	F	4	5	6		1	2	3
10	F	6	4	5		3	2	1
12	F	2	3	1		5	6	4

14	F	4	5	6		1	2	3
16	F	3	1	2		6	4	5
18	F	2	3	1		5	6	4
20	F	4	5	6		1	2	3
22	F	3	1	2		6	4	5
24	F	5	6	4		2	3	1
26	F	1	2	3		4	5	6
28	F	6	4	5		3	1	2
30	F	2	3	1		5	6	4
32	F	4	5	6		1	2	3
34	F	6	4	5		3	1	2
36	F	2	3	1		5	6	4
38	F	4	5	6		1	2	3
40	F	6	4	5		3	1	2
42	F	2	3	1		5	6	4
44	F	4	5	6		1	2	3
46	F	2	1	3		5	4	6
48	F	2	3	1		5	6	4
50	F	4	5	6		1	2	3
52	F	6	4	5		3	1	2
1	M	4	5	6		1	2	3
3	M	3	1	2		6	4	5
5	M	2	3	1		5	6	4

7	M	4	5	6		1	2	3
9	M	6	4	5		3	1	2
11	M	5	6	4		2	3	1
13	M	1	2	3		4	5	6
15	M	3	1	2		6	4	5
17	M	5	6	4		2	3	1
19	M	4	5	6		1	2	3
21	M	3	1	2		6	4	5
23	M	5	6	4		2	3	1
25	M	4	5	6		1	2	3
27	M	3	1	2		6	4	5
29	M	2	3	1		5	6	4
31	M	4	5	6		1	2	3
33	M	3	1	2		6	4	5
35	M	2	3	1		5	6	4
37	M	4	5	6		1	2	3
39	M	6	4	5		3	1	2

La sessione sperimentale si è svolta in un arco di tempo della durata di circa un'ora. Ogni partecipante è stato invitato singolarmente presso di Dipartimento di Fisiologia Umana della Facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università di Sassari. Dopo la sottoscrizione del Consenso Informato alla Ricerca e l'Informativa sulla Privacy, ogni partecipante ha compilato i questionari previsti e successivamente in costante presenza

dello sperimentatore ha svolto i test visuo-spaziali nelle tre condizioni sperimentali.
A fine sessione tutti i partecipanti hanno ricevuto in omaggio una penna dell'Università di Parma.

Capitolo 5

EFFETTI DEL LOAD COGNITIVO SULLE DIFFERENZE SESSUALI NELLE ABILITÀ VISUO-SPAZIALI

5.1 Ipotesi dello studio

Le differenze sessuali nell'esecuzione di compiti che riguardano le abilità spaziali non sono un tratto unitario, ma differiscono tra i generi e sono strettamente legate a meccanismi per risolvere diversi problemi adattativi. Numerosi studi in letteratura evidenziano che le donne hanno un vantaggio nella memorizzazione e localizzazione degli oggetti rispetto agli uomini, mentre gli uomini hanno migliori prestazioni delle donne nella navigazione spaziale. Diversi studi che indagano le prestazioni visuo-spaziali utilizzano il *Mental Rotation Test* – MRT (Vandenberg and Kuse, 1978) ed evidenziano una performance a vantaggio degli uomini corrispondente ad un'entità dell'effetto che varia da moderato a forte con un $d=0.56$ secondo Voyer e colleghi (1995) un $d=0.73$ secondo Linn e Petersen (1985). Proprio questo tipo di test evidenzia la differenza più ampia tra i generi. È ben noto che le donne eccellono nella localizzazione spaziale per ragioni evuzionistiche (Silverman and Eals, 1992). Tuttavia, in base alla ricostruzione deduttiva dello stile di vita dei nostri antenati, gli uomini, dediti alla caccia, hanno mantenuto i tratti adattativi per un migliore orientamento spaziale (Tooby and DeVore, 1987; Ecuyer-Dab and Robert, 2007). Gli studi recenti di psicologia evuzionistica confermano che la cognizione spaziale negli esseri umani avviene attraverso meccanismi progettati per risolvere particolari

problemi adattativi, legati alla sopravvivenza nell'ambiente (Cosmides and Tooby, 2013). In base alla teoria della selezione sessuale, quindi, le differenze sessuali legate alle abilità visuo-spaziali riflettono adattamenti che nell'arco della storia evolutiva della nostra specie hanno permesso ai nostri antenati di risolvere problemi adattativi genere-specifici (Darwin, 1859). Ogni adattamento selezionato sessualmente ha i suoi vantaggi, d'altro canto, richiede notevoli costi. Ad oggi sono pochi studi sulle vulnerabilità sesso-specifiche per comprendere la riduzione delle performance rispetto ad esse. In questo nostro studio, in primo luogo, valuteremo l'entità delle differenze sessuali nelle abilità visuo-spaziali. Inoltre, un altro nostro obiettivo è quello di indagare se, all'interno di ogni genere, le condizioni di *load* cognitivo vadano ad aumentare la variabilità della performance, come ci si aspetterebbe, per quei tratti sessualmente selezionati. La nostra ipotesi è che nei compiti che vedono gli uomini favoriti rispetto alle donne, lo stress sesso-specifico (abilità visuo-spaziale) vada non solo a ridurre le prestazioni medie degli uomini rispetto alle donne, ma anche ad aumentare la variabilità della distribuzione delle prestazioni in modo maggiore rispetto alle donne. Viceversa, nei compiti che vedono le donne favorite rispetto agli uomini (abilità verbale), lo stress sesso-specifico dovrebbe ridurre le prestazioni medie delle donne rispetto agli uomini, ma anche aumentare la variabilità della distribuzione delle prestazioni in modo maggiore rispetto ad essi.

5.2 Procedura sperimentale

Il nostro studio ha come obiettivo quello di ridurre sperimentalmente le differenze sessuali riportate nella letteratura scientifica in alcuni processi cognitivi legati alle

abilità visuo-spaziali, considerando la rotazione mentale di oggetti tridimensionali, attraverso l'utilizzo del MRT (Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R., and Richardson, 1995; Vandenberg and Kuse, 1978; Shepard e Metzler, 1971) e l'assunzione della prospettiva nello spazio con l'utilizzo dello *Spatial Orientation Test* SOT (Hegarty and Waller, 2004). La sessione sperimentale si è svolta così come descritto nel capitolo 4.

5.2.1 Partecipanti

I partecipanti alla ricerca sono 46 studenti universitari, di cui 3 dottorandi, un ricercatore e un laureato in attesa di occupazione. I soggetti sono 20 uomini e 26 donne di un'età compresa tra i 20 ed i 35 anni.

5.3 Risultati

La media dell'età per gli uomini è di 25.3 ± 4.17 anni, mentre per le donne è di 25.6 ± 3.95 anni. Le donne rappresentano il 56% del campione. Si è registrata la presenza di 6 mancini, 3 tra gli uomini e 3 tra le donne. Ai partecipanti, provenienti da diverse facoltà, è stato richiesto di indicare se avevano migliori performance in matematica o letteratura. Delle 26 femmine, 14 hanno risultati migliori in matematica, mentre dei 20 uomini, in 11 ottengono in matematica i risultati migliori. Il campione rispetto a questa richiesta appare ben bilanciato. Tra le donne solo 4 assumono prodotti nutraceutici e solo 3 tra i maschi. È stato richiesto di riportare la frequenza nell'arco del tempo con cui giocavano ai video giochi e con blocchetti assemblabili (Lego), esprimendo la frequenza del gioco su scala *likert* da 1 a 5. La media per gli uomini è

di 3.11 ± 1.32 per le costruzioni e di 3.05 ± 1.54 per i videogiochi. Le donne riportano una media di 2.69 ± 1.95 per le costruzioni e 2.43 ± 1.25 per i videogiochi. È stato richiesto quale considerazione avessero i partecipanti riguardo il proprio senso dell'orientamento. L'8% delle donne ritiene di avere un pessimo senso dell'orientamento, il 31% discreto, il 38% buono, il 19% ottimo e solo il 4% dichiara di avere un eccellente senso dell'orientamento. Tra gli uomini nessuno considera il proprio senso dell'orientamento pessimo, il 10% lo ritiene discreto, il 40% buono, il 45% crede sia ottimo e il 5% eccellente. Per cui il 50% degli uomini ritiene di essere bravissimo nell'orientarsi, mentre potremo ragionevolmente affermare che le donne non hanno tale convinzione. Dei partecipanti che fanno sport, gli uomini lo praticano per un tempo medio settimanale di circa 6 ore e mezzo, mentre le donne per un tempo settimanale medio di 5 ore e mezzo. Tra gli uomini 17 su 20 si muovono con mezzo proprio, ossia l'85%, mentre tra le donne 18 su 26 si muovono prevalentemente con mezzo proprio, ossia il 69%.

Per quanto riguarda l'analisi legata alle prestazioni dell'MRT nelle tre condizioni sperimentali, per ogni condizione sperimentale il punteggio massimo è di 10. Le medie dei punteggi al MRT-1 per gli uomini sono di 7.85 ± 2.03 e per le donne 5.93 ± 3.05 . Le medie dei punteggi al MRT-2 per gli uomini sono di 7.85 ± 2.42 e per le donne 4.77 ± 2.12 . Le medie dei punteggi al MRT-3 per gli uomini sono di 6.05 ± 2.30 e per le donne 4.92 ± 2.11 . Per l'analisi è stata utilizzata un ANOVA fattoriale mista, mettendo in relazione la variabile categoriale genere, quindi, l'essere uomo o donna, e le tre variabili numeriche rappresentate dai punteggi dell'MRT-1, MRT-2 e l'MRT-3. Dai risultati dell'ANOVA, l'effetto principale genere è significativo ($p=0.01$; $F_{1,44} =$

6.86, $ges=0.10$) e l'effetto principale del MRT altrettanto ($p < 0.001$, $F_{2,88}=11.75$; $ges=0.06$)

Notiamo, dunque, un effetto significativo del genere e dell'MRT, ma non è presente alcun effetto dell'interazione genere/MRT sul punteggio, come mostrato, anche, dalla rappresentazione grafica

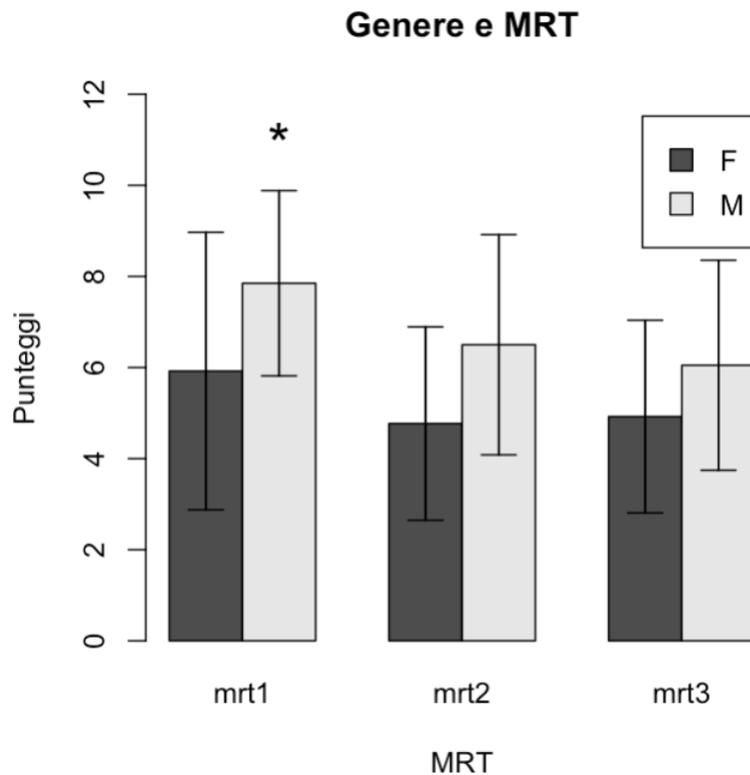


Figura 3 Media ($\pm dv$) ai punteggi MRT-1-2-3. L'effetto atteso si è verificato nella condizione di controllo, con un significativo vantaggio degli uomini rispetto alle donne ($p < 0.01$). Le barre di errore indicano le deviazioni standard.

L'effetto principale del genere evidenzia come i maschi abbiano un punteggio superiore alle femmine nei punteggi nel MRT-1, stesso fenomeno si verifica nel MRT-2 e nel MRT-3. L'effetto dell'MRT risulta essere significativo come dimostrato dal

test post hoc con correzione di Holm ($p < 0.01$). Tra il MRT-2 e il MRT-3 la differenza non è da considerarsi significativa ($p > 0.05$). Il MRT-1 ha un punteggio più alto in assoluto, mentre nel MRT-2 e nel MRT-3, rispetto alla baseline c'è un abbassamento del punteggio, che si mantiene costante tra i sessi. Un ulteriore dato a conferma è stato fornito dal t test, nel confronto tra le medie dei punteggi al MRT-1 degli uomini e delle donne. La differenza delle medie è risultata significativa ($t_{43.257} = -2.57$; $p\text{-value} = 0.01$; $CI\ 95\% \text{ diff.} = (-3.44) - (-.41)$). Questi risultati suggeriscono che i punteggi dei maschi sono in media più alti rispetto a quelli delle femmine. Il d di Cohen mostra un'entità dell'effetto moderato pari a 0.72.

In riferimento all'MRT-2 e in relazione alla frequenza di *tapping* effettuati, negli uomini si registra una differenza dal numero di click in valore assoluto rispetto al tempo utilizzato espresso in secondi di 30.80 ± 28.48 , con un range che va da 3 a 110 secondi. Le donne hanno una media errore di 30.92 ± 25.62 secondi, con un range che va da 0 a 108. L'accuratezza nei maschi e nelle femmine è di uguale misura ($p = 0.99$, $F_{1,44} = 0$; $R^2 = .00$; $R^2 \text{ adj} = .00$). Per quanto riguarda gli errori commessi durante l'esercizio verbale nel MRT-3 (con l'interferenza verbale consistente, nel ripetere i giorni della settimana), gli uomini hanno commesso in media 1.5 ± 2.54 errori, con un range che va da 0 a 8, rispetto alla media delle donne che corrisponde a 0.50 ± 1.21 , con un range da 0 a 4. La differenza tra i due gruppi non risulta significativa ($p = .1$, $F_{1,44} = 2.88$; $R^2 = .06$; $R^2 \text{ adj} = .04$).

Per quanto riguarda i risultati dei SOT mettendo a confronto le deviazioni angolari medie, ossia lo scostamento angolare medio in rapporto al risultato corretto del compito (errore angolare) notiamo che al SOT-1 gli uomini hanno un errore

angolare medio di $15.77 \pm 18.49^\circ$, mentre per le donne il valore è di $19.90 \pm 11.29^\circ$. Al SOT-2 gli uomini hanno errore angolare di $15.88 \pm 12.85^\circ$ rispetto alle donne che riportano una media di $20.74 \pm 18.39^\circ$. Infine, in riferimento al SOT-3 gli uomini hanno una deviazione angolare media di $16.99 \pm 10.75^\circ$, mentre nelle donne si rileva un valore medio di $23.78 \pm 15.94^\circ$. Le deviazioni angolari medie sono più alte per le donne, pertanto gli uomini hanno, anche in questo test ed in tutte le tre condizioni sperimentali, prestazioni migliori rispetto alle donne, come evidenziato dalla rappresentazione grafica.

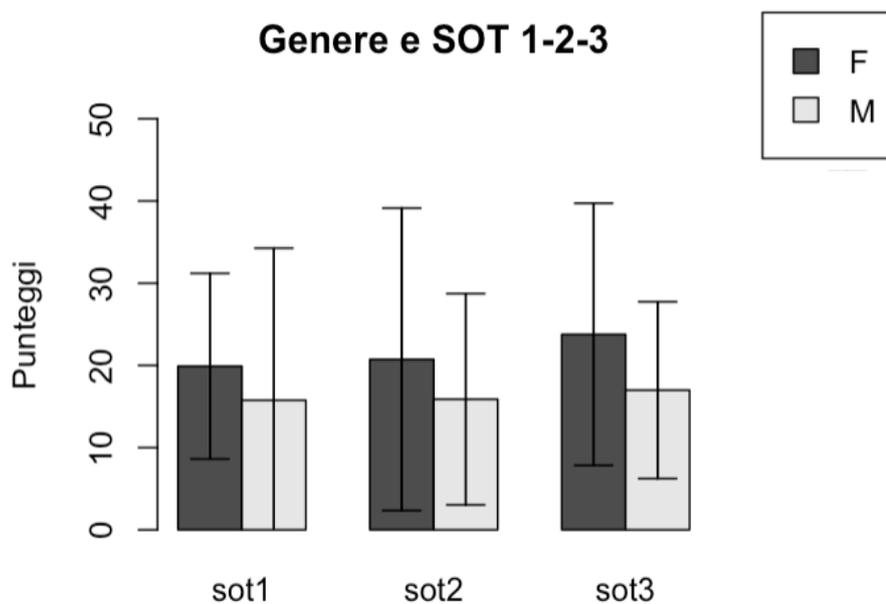


Figura 4 Medi(\pm sd) degli uomini e delle donne nelle tre condizioni sperimentali del SOT. Nessuna condizione si è mostrata significativa ($p=.58$). Le barre di errore indicano le deviazioni standard.

È stata eseguita, come per il caso precedente, una ANOVA fattoriale mista considerando come variabili dipendenti il genere (*between*) e i tre tipi di rilevazione (SOT-1, SOT-2 e SOT-3; *within*), escludendo 2 donne a causa di dati mancanti nelle

misure in questione: ciò che emerge è l'assenza di qualunque effetto considerato nel modello, sia di genere ($p = .15$, $F_{1,42}=2.17$; $ges=0.03$) che dei tre tipi di SOT ($p = .58$, $F_{2,84}=.50$; $ges=0.00$) che della loro interazione ($p = .86$, $F_{2,84}=.15$; $ges=0.00$)

I risultati al questionario AQ, per quanto riguarda i punteggi delle sottocategorie abilità sociali e comunicazione, si evidenziano punteggi simili per entrambe i generi, come confermato da ANOVA *between* ($p = .37$, $F_{1,44}=.83$; $R^2=.02$; $R^2 adj=.00$). Gli uomini totalizzano un punteggio di 4.65 ± 3.23 e le donne di 5.53 ± 3.30 .

5.4 *Discussione*

Il presente studio si propone di indagare le differenze sessuali nelle abilità visuo-spaziali e se tali differenze diminuiscono e, se sì, in quale entità, nel momento in cui si crea un'interferenza che va a stressare il sistema che sottende l'utilizzo di tali abilità, partendo dal presupposto che uomini e donne abbiano differenti vulnerabilità. L'ipotesi è che nei compiti che vedono gli uomini favoriti rispetto alle donne, lo stress sesso-specifico (abilità visuo-spaziale) vada non solo a ridurre le prestazioni medie degli uomini rispetto alle donne, ma anche ad aumentare la variabilità della distribuzione delle prestazioni in modo maggiore rispetto alle donne. Viceversa, nei compiti che vedono le donne favorite rispetto agli uomini (abilità verbale), lo stress sesso specifico dovrebbe andare a ridurre le prestazioni medie delle donne rispetto agli uomini, ma anche aumentare la variabilità della distribuzione delle prestazioni in modo maggiore rispetto agli uomini. Il presente studio non supporta l'ipotesi, mentre all'analisi dei dati, i risultati confermano che siamo stati in grado di replicare i dati

presenti in letteratura per quanto riguarda il MRT. L'ANOVA conferma la significatività del genere e MRT-1.

Per quanto riguarda l'interazione genere/MRT, non vi è alcun un effetto significativo sul punteggio MRT e per questo motivo l'ipotesi che un'interferenza possa ridurre le differenze sessuali, eliminarle o invertirle non trova corrispondenza con l'ipotesi di partenza.

Le ragioni per cui l'ipotesi non ha ottenuto riscontro potrebbero essere molteplici. Un motivo tra questi è che l'interferenza creata sperimentalmente non sia stata sufficientemente adeguata nel creare lo stress che avrebbe dovuto incidere sulla performance. Questa possibilità indica che è necessario procedere con ulteriori studi ed attraverso l'utilizzo di un protocollo più mirato e dedicato ad interferire in modo maggiormente efficace sui sistemi deputati ai compiti di navigazione spaziale. Maggiore attenzione potrebbe essere prestata alla scelta del compito in base alle vulnerabilità di genere.

Un'altra causa che può avere influenzato l'esito della ricerca consiste nella possibile differenza interindividuale nelle capacità di *working memory*. In un futuro studio potrebbe essere utile poterle misurare, ai fini di verificarne eventuali correlazioni con le performance al MRT. È plausibile che le differenze interindividuali possano aver influenzato i risultati, influenzando le performance dei due generi in condizione di stress. Allo stesso modo differenze individuali nella gestione dei livelli di ansia, al momento della performance nelle condizioni sperimentali con interferenza, e le diverse strategie di *coping* dei partecipanti possono aver rappresentato il motivo del fallimento nel controllo delle condizioni sperimentali.

Per esempio, la condizione sperimentale MRT-2 che prevede il movimento spaziale di *tapping*, richiede al partecipante di cliccare con la cadenza di un click al secondo. Le medie degli scostamenti calcolati in secondi rispetto al tempo utilizzato per svolgere l'esercizio, si sono, comunque rivelate praticamente identiche tra i due sessi. In ogni caso, in un prossimo studio l'accuratezza dovrebbe essere totalmente sotto il controllo dello sperimentatore e la prova di interferenza da imporre ai partecipanti dovrà essere più incisiva. Una prova maggiormente difficoltosa avrebbe potuto riportare un effetto dell'interazione MRT/genere sul punteggio che avrebbe avvalorato l'ipotesi della ricerca.

Infine, la ridotta numerosità campionaria (26 donne e 20 uomini) potrebbe rappresentare un limite alla ricerca. Una numerosità campionaria più ampia avrebbe potuto evidenziare risultati maggiormente in linea con l'ipotesi stessa.

Rispetto ai risultati del SOT, ciò che emerge è l'assenza di qualunque effetto considerato nel modello, sia di genere che dei tre tipi di SOT che della loro interazione.

La scelta di somministrare il SOT (Hegarty and Waller, 2004) nella versione sociale è stata dettata dal fatto che, in ogni caso, la figura umana rappresenta un indizio spaziale oltre che sociale (Geer and Ganley, 2023). Dai confronti delle medie relativi all'errore angolare non si hanno differenze significative, sia nella condizione di controllo che in quelle sperimentali.

I risultati indicano l'esigenza di ulteriori studi che possano portare a risultati, con l'utilizzo, comunque, di metodologie più appropriate se si vuole rilevare un effetto significativo dell'interferenza spaziale o verbale sul compito di misurazione dell'abilità spaziale nelle diverse condizioni sperimentali.

A seguito di un confronto tra i risultati nell'AQ (in riferimento alle sottocategorie di abilità sociali e comunicative), la media dei punteggi degli uomini e delle donne messi a confronto non evidenziano alcuna differenza significativa (4.65 ± 3.23 per gli uomini e 5.53 ± 3.30 per le donne). Considerato che il punteggio massimo ottenibile è 20, e ad un maggiore punteggio corrisponde una minore abilità sociale dei soggetti, le medie registrate affermano buone capacità sociali in entrambi i sessi.

5.5 Conclusioni

Il presente studio ha replicato i dati presenti in letteratura riguardo alle differenze sessuali nel compito di rotazione mentale di oggetti tridimensionali con l'utilizzo del MRT (Peters et al., 1995; Vandenberg and Kuse, 1978; Shepard and Metzler, 1971). Non sono state evidenziate, comunque, le variazioni dell'entità dell'effetto delle differenze sessuali ipotizzate, in presenza delle interferenze verbali e di *spatial tapping*. I prossimi eventuali studi che avranno come obiettivo quello di indagare sulle vulnerabilità di genere, dovranno studiare protocolli più mirati ad una efficace interferenza sul compito di abilità spaziale e applicarli su un campione più ampio.

Capitolo 6

EFFETTI SULLE DONNE DELLE FASI DEL CICLO MESTRUALE E DEI CONTRACCETTIVI ORALI NEL MENTAL ROTATION TEST

6.1 Ipotesi dello studio

Ad oggi la letteratura afferma che le prestazioni nei test per misurare le abilità spaziali per le donne variano in funzione della fase del ciclo mestruale, e quindi, in funzione dello stato ormonale. Oltre ai numerosi studi che evidenziano il vantaggio degli uomini rispetto alle donne nei compiti visuo-spaziali nella manipolazione mentale di forme geometriche, come il MRT (Vandenberg and Kuse, 1978), diverse sono le analisi che descrivono come le prestazioni nelle abilità visuo-spaziali siano migliori nelle donne con livelli di estrogeni ridotti (Hampson, 1990; Hampson and Kimura, 1991; Silverman and Phillips, 1993). Le differenze sessuali nelle capacità cognitive e motorie umane possono in parte essere dovute agli effetti organizzativi o di attivazione degli ormoni sessuali sul cervello (Hampson, 1990). I processi della memoria di lavoro responsabili delle differenze sessuali che sono mediati dalla mPFC, suggeriscono la necessità di ulteriori studi per stabilire se gli estrogeni o gli androgeni siano responsabili delle differenze sessuali e per determinare se le differenze abbiano le proprie origini negli effetti organizzativi o attivatori degli steroidi gonadici (Duff and Hampson, 2001). Ciò avvalorava, comunque, l'ipotesi che gli steroidi gonadici, attraverso effetti a lungo e breve termine nel sistema nervoso centrale, modulino

numerosi comportamenti sessualmente dimorfici nei mammiferi, compresi i comportamenti di navigazione spaziale (Hampson, 1995). Tuttavia, gli effetti ormonali sui compiti di rotazione mentale non sono ancora del tutto chiari. Le differenze nelle prestazioni femminili interindividuali sono associate ai livelli di estradiolo, progesterone e testosterone (Courvoisier et al., 2013). L'ambiente ormonale può modulare le prestazioni nel MRT e gli ormoni ovarici possono spiegare la variabilità delle prestazioni (Peragine et al., 2020). L'effetto dell'estradiolo non è limitato al MRT, ma si estende anche all'elemento rotazionale e agli aspetti della percezione delle figure, processi la cui risposta può essere correlata al livello di estrogeni, contribuendo all'approfondimento della comprensione del fenomeno della correlazione tra i livelli di estradiolo e i processi spaziali (Hampson et al., 2014). Il presente studio si propone di indagare gli effetti della fase del ciclo mestruale e dell'assunzione del contraccettivo orale sulle donne in relazione alle abilità visuo-spaziali, attraverso l'utilizzo del MRT (Vandenberg and Kuse, 1978), nello specifico della versione rivisitata MRT-A (Peters et al., 1995). La nostra ipotesi di ricerca è che i livelli di estradiolo possano migliorare la performance nel MRT. Pertanto, la fase del ciclo mestruale luteinica e la fase mestruale sono quelle in cui ci si aspetta di osservare nelle donne i risultati migliori. Inoltre, l'assunzione di contraccettivi ormonali, che agiscono sulla componente estrogenica, potrebbero modulare le prestazioni nelle abilità visuo-spaziali delle donne che li assumono.

6.2 Procedure e metodi

Al fine di valutare le differenze della performance visuo-spaziale e l'entità di tale effetto, abbiamo osservato le prestazioni delle femmine nel MRT, attraverso l'utilizzo

del MRT-A (Peters et al.,1995; Vandenberg and Kuse, 1978; Shepard e Metzler, 1971). In questo studio prenderemo in considerazione unicamente la condizione di controllo, denominata MRT-1, composta da 10 item di figure:

Controllo (MRT1): 1a 2a 3a 4a 5a 6a 7a 8a 16a 18a

Le figure selezionate, l'attribuzione dei punteggi, così come la metodologia della ricerca, sono definiti in base alla procedura sperimentale descritta nel Capitolo 4. Pertanto, le partecipanti alla ricerca hanno svolto il compito su supporto cartaceo e in un tempo stabilito di massimo di quattro minuti e con un punteggio massimo ottenibile di 10 punti. Oltre al MRT-1, in questa parte dello studio è stato di particolare interesse il questionario per la valutazione ginecologica e della regolarità del ciclo mestruale.

6.2.1 Partecipanti

I partecipanti alla ricerca sono 26 studentesse universitarie di un'età compresa tra i 20 ed i 35 anni.

6.3 Analisi dei risultati

Le partecipanti hanno un'età media 25.62 ± 4.00 anni. Alle partecipanti, provenienti da diverse facoltà, è stato richiesto di indicare se avevano migliori performance in matematica o letteratura. Delle 26 femmine, 14 avevano risultati migliori in matematica, mentre 12 avevano le performance migliori in letteratura. Tra le femmine solo 4 assumevano prodotti nutraceutici. È stato richiesto di riportare la frequenza nell'arco del tempo con cui giocavano ai video giochi e con blocchetti assemblabili (Lego). Le partecipanti riportano di giocare con una frequenza, espressa in scala *likert* da 1 a 5, di 2.69 ± 1.20 per le costruzioni e 2.43 ± 1.25 per i videogiochi. Per quanto

riguarda la percezione del proprio senso dell'orientamento, l'8% delle donne ritiene di avere un pessimo senso dell'orientamento, il 31% discreto, il 38% buono, il 19% ottimo e solo il 4% crede di avere eccellente senso dell'orientamento. Le donne in fase follicolare sono in tutto 11, mentre quelle in fase luteinica sono 14, un soggetto non può essere attribuito ad alcuna fase a causa di un forte ritardo sul ciclo, pertanto, è stato escluso dall'analisi dei risultati per la difficoltà dell'individuazione della fase del ciclo.

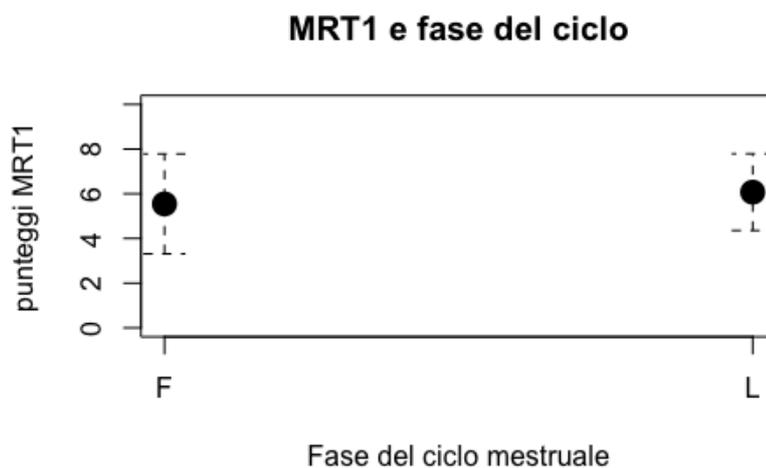


Figura 5 Medie delle donne in fase F= follicolare e L=luteinica. Le barre d'errore rappresentano gli intervalli di fiducia del 95%.

Per quanto concerne i punteggi rilevati al MRT-1, la media del punteggio per le donne in fase follicolare è di 5.54 ± 3.33 , mentre per le donne in fase luteinica è di 6.07 ± 2.97 . Per quanto riguarda la media dei punteggi nelle due fasi non abbiamo rilevato alcuna differenza significativa ($p = 0.68$, $F_{1,23} = .17$; $R^2 = .00$; $R^2 \text{ adj} = .00$), così come evidenziato dalla rappresentazione grafica.

In seguito, abbiamo analizzato l'eventuale presenza di una differenza significativa nel campione, mettendo a confronto la media dei punteggi ottenuti tra chi assumeva il contraccettivo orale e chi non lo assumeva. Per le donne senza contraccettivo i

punteggi medi sono 6.75 ± 3.25 , mentre per coloro che li assumono il punteggio medio è di 5.21 ± 2.78 . L'ANOVA riporta una differenza tra le due condizioni come non significativa ($p = 0.21$, $F_{1,24} = 1.69$; $R^2 = .07$; $R^2 \text{ adj} = .03$). I risultati sono rappresentati nel grafico del confronto delle medie dei punteggi.

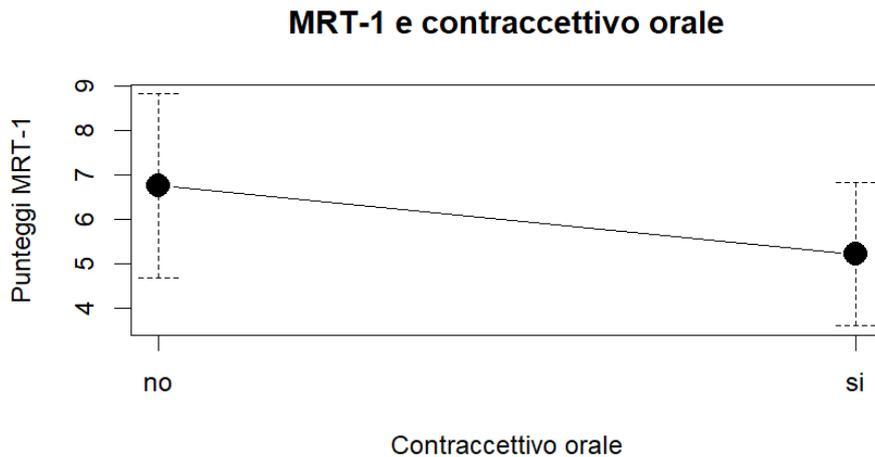


Figura 6 Medie delle donne rispetto all'assunzione del contraccettivo orale. Le barre d'errore rappresentano gli intervalli di fiducia 95%.

Così come confermato dal t test ($t_{21,842} = 1.2833$, $p\text{-value} = 0.2128$; $95\% \text{ CI diff.} = -0.95 - 4.02$), la differenza tra le medie non è significativa, sebbene il coefficiente di *effect size* sia di media entità ($D \text{ di Cohen} = 0.51$).

6.4 Discussione

In questo secondo studio vengono presi in considerazione i dati relativi al campione composto dalle sole 26 donne. Le analisi sui dati raccolti sono state condotte con unico riferimento alle performance delle donne nello svolgimento del compito dell'MRT-1. Le analisi sono state condotte facendo un confronto tra le performance delle femmine

e la fase del ciclo in cui esse si trovano al momento dell'esperimento. In questa parte dell'analisi non sono stati rilevati i dati fisiologici, ma il calcolo della fase mestruale è stata dedotta in base alla data dell'ultimo ciclo che le partecipanti hanno indicato nel questionario ginecologico. Di un soggetto non è stato possibile attribuire alcuna fase del ciclo a causa di un forte ritardo, pertanto, è stata esclusa da questo confronto. Dunque, le donne in fase follicolare sono in tutto 11, mentre quelle in fase luteinica sono 14. In base ai risultati ottenuti, non vi è alcuna differenza significativa nel confronto tra le medie della performance delle partecipanti nelle due diverse fasi.

In seguito, abbiamo messo a confronto le medie dei punteggi al MRT-1 delle partecipanti che assumevano o meno il contraccettivo orale. Dal confronto emerge che vi è una differenza, ma non statisticamente significativa per quando riguarda la differenza tra le medie dei punteggi, la media dei punteggi è maggiore nelle donne che prendono contraccettivi orali rispetto a chi non li utilizza.

6.5 Conclusioni

L'ipotesi della ricerca è che l'ambiente ormonale moduli le performance nei test di rotazione mentale di oggetti tridimensionali come l'MRT. La letteratura riporta più volte l'influenza dei livelli ormonali nei compiti in cui sono implicate le abilità visuo-spaziali. In questo studio non abbiamo rilevato significative evidenze degli effetti delle fasi del ciclo sulla performance del test. L'oggettiva difficoltà di poter confermare i livelli ormonali nelle diverse fasi del ciclo rappresenta un limite per la ricerca. Inoltre, non si evidenziano differenze significative nei punteggi del MRT tra donne che assumono contraccettivi orali rispetto alle donne che non ne fanno uso. Il dato potrebbe

non essere significativo a causa della numerosità campionaria estremamente ridotta e ancora per la difficoltà di avere dati reali sui livelli ormonali. Inoltre, questi risultati ci inducono a pensare che sia plausibile una modulazione ormonale, esclusivamente in alcuni casi, legati a fattori cognitivi ed ambientali, come l'apprendimento e l'esperienza. Futuri studi potranno fare chiarezza sul fenomeno analizzando un campione più numeroso e considerando le misure dei livelli ormonali, in considerazione dell'assunzione di contraccettivi e della loro tipologia, in un disegno longitudinale programmato in base a dati precisi sui livelli ormonali rilevati in laboratorio.

Capitolo 7

EFFETTI DELLO SFORZO FISICO SULLE DIFFERENZE SESSUALI NEL MENTAL ROTATION TEST: UNO STUDIO PILOTA

7.1 Lo sforzo fisico nella variabilità delle differenze sessuali nella navigazione sociale

Esistono marcate differenze nelle abilità cognitive tra uomini e donne ed una di queste è la capacità di navigazione spaziale. Nella ricerca sperimentale dell'elaborato di tesi è stato indagato quando sia l'effetto della variazione tra i due generi e tra lo stesso genere in compiti di navigazione e orientamento spaziale in tre diverse condizioni: controllo e dual task con *spatial tapping* e *verbal activity*. Ad oggi pochi studi indagano, invece, su quanto lo sforzo fisico possa influenzare la performance cognitiva. Jost e colleghi (2021) hanno svolto uno studio in cui hanno valutato le performance dei partecipanti nella risoluzione del MRT (Peters et al., 1995; Vandenberg and Kuse, 1978; Shepard and Metzler, 1971) durante lo svolgimento di un'attività di esercizio aerobico. Ai 41 studenti tedeschi che partecipavano alla ricerca è stato chiesto di compilare l'MRT mentre pedalavano ad un'intensità del 60%. La ricerca *within subjects* prevedeva una condizione di controllo ed una con esercizio simultaneo ed in entrambe venivano calcolati il battito cardiaco e lo sforzo fisico soggettivo (RPE), i tempi di reazione e l'accuratezza nelle risposte al test. Dall'analisi dei risultati si è evidenziato un rallentamento della cadenza durante la fase di risposta al test e la conclusione ha portato i ricercatori a sostenere che, uno sforzo, sia fisico

che cognitivo, era necessario durante l'esercizio combinato in quanto le risorse neurologiche entrano in conflitto a causa delle differenti richieste di esercizio e delle funzioni esecutive (Jost et al., 2021).

7.2 Ipotesi di studio

In un'ottica evolutivista è stato indagato il fenomeno delle differenze nelle abilità di navigazione spaziale tra i due generi, osservando una situazione naturalistica o verosimilmente una situazione in cui misurare la performance dell'MRT, in una condizione di controllo e in una condizione sperimentale, dopo e non durante lo sforzo fisico come nello studio di Jost e colleghi (2021). È stato reclutato un piccolo campione di triatleti: 11 soggetti, 5 maschi e 6 femmine. L'obiettivo di questo studio pilota è di valutare le differenze sessuali in relazione alla cognizione spaziale riportate dalla letteratura scientifica utilizzando il MRT-A nella sua versione originale (Peters et al., 1995). Si è indagato quanto le condizioni di un avvenuto sforzo fisico e nello specifico una simulazione di gara di triathlon, e quindi quanto un load fisico e la stanchezza che ne consegue influiscano nella performance cognitiva. L'ipotesi prevede che gli uomini siano favoriti rispetto alle donne, e che lo stress fisico vada a diminuire le performance medie sia degli uomini e che delle donne, aumentando la variabilità delle performance in entrambi i sessi.

7.3 Materiali e metodi

7.3.1 Partecipanti

Gli 11 partecipanti (32-49 anni) alla ricerca fanno parte della società sportiva Triathlon Team Sassari, 5 femmine e 6 maschi in ritiro presso l'Hotel Taloro, situato al centro della Sardegna, in provincia di Nuoro.

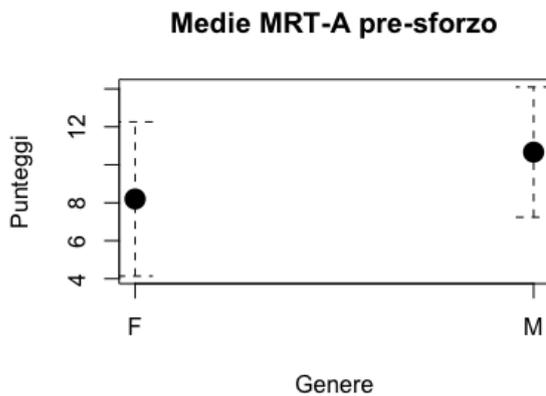
7.3.2 Procedura sperimentale

Lo stage dei partecipanti alla ricerca prevedeva allenamenti mirati alla partecipazione di una gara di triathlon olimpico (Km 1,5 di nuoto, Km 40 di bici, Km 10 di corsa) che si sarebbe svolta il mese successivo. La ricerca sperimentale ha avuto luogo in un unico giorno, il 30 agosto 2022. I soggetti erano tutti impegnati in una simulazione della gara di triathlon olimpico. Il nuoto si è svolto in un lago nelle vicinanze del sito in cui si svolgeva la sessione sperimentale, i 40 km di bicicletta su percorso collinare misto e 10 km di corsa su percorso pianeggiante. Le due condizioni - controllo e sperimentale – si sono svolte presso la sala riunioni messa gentilmente a disposizione dall'hotel. La sessione pre-sforzo, ossia la condizione di controllo, ha avuto luogo dopo la colazione. I triatleti hanno compilato un questionario demografico e il MRT-A nella versione completa con 24 items (Peters et al., 1995), suddiviso in 2 parti (12 item per parte). È stato dato un tempo per la compilazione pari a 4 minuti per ogni parte, con 2 minuti di pausa tra la prima e la seconda parte. La situazione sperimentale (post sforzo fisico) prevedeva la compilazione del MRT-A, immediatamente, nel momento del ritorno in hotel, prima di fare qualsiasi altra cosa. Due sperimentatori, la laureanda scrivente e una collega dell'Università di Parma del corso di Psicobiologia e Neuroscienze

Cognitive sono stati presenti in ogni fase della sessione. Le donne hanno completato anche un questionario sulla salute ginecologica, ma che per la ridotta numerosità campionaria non è stato poi contemplato nell'analisi dei risultati. I punteggi al MRT-A sono stati calcolati come indicato nel capitolo 4, per cui il punteggio del test originale con i suoi 24 items varia da 0 a 24 punti.

7.4 Analisi dei risultati

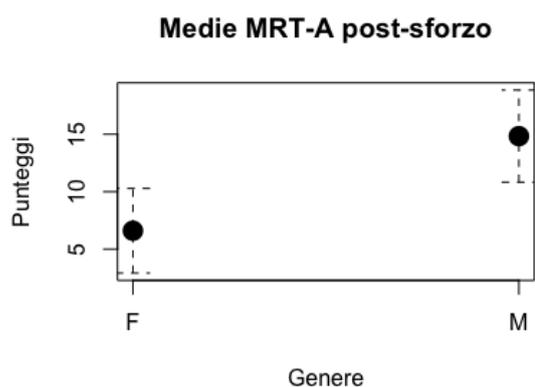
La media dell'età per gli uomini è di 48.5 ± 8.29 anni, mentre per le donne è di 48 ± 6.89 anni. I maschi rappresentano il 54% del nostro piccolo campione. Tutti i partecipanti sono destrimani e nessuno di loro ha riportato di avere problemi neurologici o disturbi della personalità. Le 5 femmine usano tutti prodotti nutraceutici, così come 3 dei 6 maschi. Delle 5 femmine tutte hanno la preferenza per la matematica, rispetto alla letteratura, dei 6 maschi 2 preferiscono la letteratura e 4 la matematica. Tra le domande è stato richiesto quale considerazione avessero i partecipanti riguardo il proprio senso dell'orientamento con una scala *likert* da 1 a 5. La risposta è uguale sia per gli uomini che per le donne e corrisponde a 4, quindi i soggetti ritengono di avere un buon senso dell'orientamento. Per quanto riguarda le ore di sport, gli uomini praticano mediamente a settimana 13.83 ± 4.26 ore, mentre le donne 11.6 ± 7.57 . Tutti i partecipanti dichiarano di muoversi con mezzo proprio. Le misure fisiologiche dei partecipanti, come battito cardiaco medio o livelli di affaticamento registrati dai loro propri dispositivi per la rilevazione, non sono stati presi in considerazione.



Per quanto riguarda l'analisi legata alle prestazioni dell'MRT-A nella condizione di controllo o pre-sforzo, le donne ottengono un punteggio medio 8.2 ± 3.27 , mentre gli uomini hanno totalizzato in media 10.67 ± 3.26 . Il t test per confronto

tra le medie non evidenzia una differenza significativa ($t_{8,6376} = -1.2462$; $p\text{-value} = 0.25$; $CI\ 95\% \text{ diff.} = [-6.97 - 2.04]$). I dati sono rappresentati nel grafico delle medie.

Le prestazioni dell'MRT-A nella condizione post-sforzo si presentano con un vantaggio dei maschi sulle femmine. I maschi totalizzano un punteggio medio di 14.83 ± 3.81 in notevole aumento rispetto alla condizione pre-sforzo, mentre le donne hanno un punteggio medio di 6.6 ± 2.96 , decisamente in calo rispetto alla fase pre-test. La rappresentazione grafica ci mostra le medie degli uomini e delle donne alla fine dell'allenamento.



Per valutare la significatività della differenza è stato utilizzato un t test ($p\text{-value} < .01$; $t_{8,9787} = -4.0233$; $CI\ 95\% \text{ diff.} = [-12.86 - -3.60]$). Il risultato del t test indica che la differenza è significativa. Per stimare l'entità dell'effetto utilizziamo un d di Cohen,

che risulta forte ($d=2.38$). Una rappresentazione grafica più esaustiva indica le due medie nelle due diverse condizioni sperimentali e tra i due sessi.

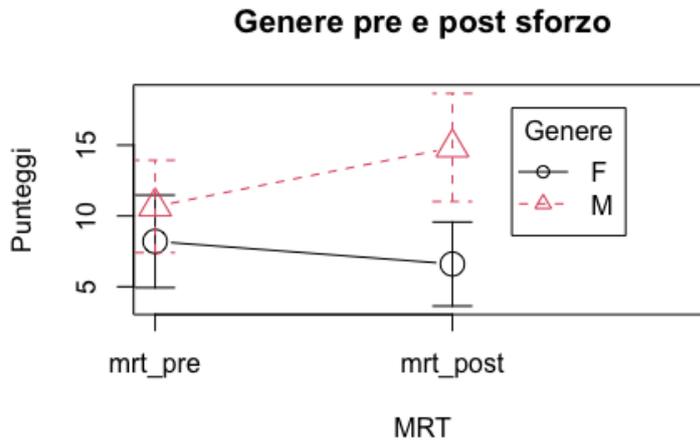


Figura 7 Grafico delle medie dei punteggi al MRT-A pre e post sforzo fisico, prima e dopo l'allenamento per il triathlon olimpico. La barra degli errori rappresenta la deviazione standard.

7.5 Discussione

La ricerca sperimentale di questo studio pilota è volta ad indagare le performance nelle abilità visuo-spaziali di uomini e donne in una situazione naturalistica. L'approccio evuzionistico allo studio delle differenze sessuali induce all'analisi di un confronto delle differenze sessuali in una condizione di sforzo fisico, o meglio di stanchezza fisica indotta nel nostro habitat naturale.

I dati rilevati nel nostro piccolo campione evidenziano che nella sessione di controllo la differenza tra le medie non è significativa, pur se gli uomini risultano in vantaggio con un punteggio medio di 10.67 ± 3.26 rispetto al punteggio di 8.2 ± 3.27 delle donne. Dall'analisi dei dati post-sforzo emerge una differenza statisticamente significativa tra le medie come evidenziato dai risultati del t test ($p\text{-value} < .01$; $t_{8.9787} = -4.0233$; $CI\ 95\% \text{ diff.} = [-12.86 - -3.60]$, e confermati da un $d=2.38$, quindi un'entità dell'effetto forte. I risultati, in un'ottica evuzionistica, sono di supporto all'ipotesi della divisione del lavoro (Tooby and DeVore, 1987). Gli uomini con un punteggio

medio di 14.83 ± 3.81 mantengono e migliorano la propria performance, mentre le donne con una media di 6.6 ± 2.96 , diminuiscono la loro media, aumentando il divario con quella degli uomini. La rappresentazione grafica riassume i risultati ottenuti e induce a sostenere che gli uomini, per ragioni probabilmente evoluzionistiche, e per altri motivi, su cui future ricerche potranno indagare, nonostante lo sforzo fisico hanno la capacità di mantenere e migliorare la performance al MRT-A. Tale risultato potrebbe estendersi alla cognizione spaziale in generale ed alla capacità di orientamento nello spazio.

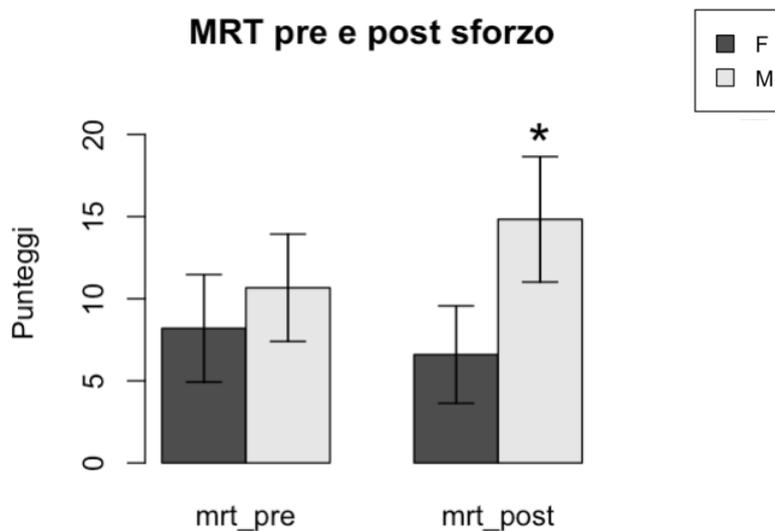


Figura 8 Medie di uomini e donne pre e post allenamento. Le barre d'errore indicano le deviazioni standard. L'asterisco segna la significatività della differenza tra uomini e donne al MRT-A post sforzo fisico

7.6 Conclusioni

Questo studio pilota è stato condotto per poter comprendere se e come procedere con ulteriori indagini e valutare i necessari interventi per avvalorare eventuali ipotesi di ricerca in considerazione di un approccio evoluzionistico.

CONCLUSIONI

Esistono differenze sessuali marcate nelle abilità cognitive. Diverse metanalisi suggeriscono che gli uomini hanno performance migliori per quanto riguarda le capacità di rotazione mentale e di navigazione spaziale. In base alla teoria della selezione sessuale, le differenze sessuali legate alle abilità visuo-spaziali riflettono adattamenti darwiniani che nell'arco della storia evolutiva della nostra specie hanno permesso ai nostri antenati di risolvere problemi adattativi genere-specifici. Un aspetto chiave di ogni adattamento selezionato sessualmente è che i suoi ovvi vantaggi sottendono notevoli costi: benché un adattamento sia condiviso ed espresso da tutti gli individui di un determinato sesso, la qualità della performance del tratto mostra una marcata variabilità interindividuale. Tuttavia, tale variabilità è evidente solo quando l'organismo affronta condizioni di stress, o meglio, quando il sistema che sottende una particolare performance sessualmente selezionata viene stressato e gli elevati costi metabolici necessari per sostenere la performance del tratto entrano in conflitto con i costi metabolici necessari per il mantenimento di altri tratti. Infatti, questo meccanismo di compromesso tra diversi sistemi organismi è alla base del concetto di vulnerabilità sesso-specifica. Ad oggi molti studi legati alle performance cognitive spaziali e verbali si sono concentrati sugli effetti dell'esperienza che permette agli individui di ridurre il gap di genere, dimostrando come l'apprendimento e l'esperienza siano fondamentali per esprimere una migliore performance. Tuttavia, minore è stata l'attenzione legata allo studio delle vulnerabilità sesso specifiche, cioè in quali condizioni queste performance si riducono, soprattutto per gli individui dello stesso genere. Inoltre, nell'ambito dei tratti cognitivi che mostrano una performance che differisce tra i due

generi, notevole è stata l'attenzione verso quei meccanismi cognitivi che permettono a un determinato genere di eccellere in uno specifico task. Per esempio, le performance visuo-spaziali in cui i maschi eccellono sono ridotte quando i substrati cognitivi sottendenti queste abilità vengono sollecitati con un load cognitivo: in questi casi le differenze sessuali altrimenti osservabili potrebbero estinguersi. Questi approcci ci aiutano a comprendere le strategie cognitive dipendenti dal sesso biologico di un individuo e che potrebbero essere alla base delle differenze sessuali osservate in diversi ambiti delle scienze cognitive.

Il presente studio si è occupato, dunque, di indagare il tema delle differenze sessuali nelle abilità visuo-spaziali attraverso un approccio evoluzionistico. Pertanto, la ricerca bibliografica ha cercato di mettere in risalto aspetti dell'argomento nell'ottica della selezione naturale e di conseguenza della selezione sessuale, esponendo le teorie più importanti riguardo la cognizione spaziale come la teoria della suddivisione del lavoro e del foraggiamento. Una particolare attenzione è stata data, inoltre, allo studio delle differenze vulnerabilità che ha ispirato il protocollo della ricerca sperimentale.

Tale ricerca è stata in grado di replicare i dati presenti in letteratura riguardo alle differenze sessuali nel compito di rotazione mentale di oggetti tridimensionali (MRT), ma unicamente nella condizione di controllo, ma non nei compiti di assunzione di prospettiva (SOT). Non sono state evidenziate, comunque, le variazioni dell'entità dell'effetto delle differenze sessuali ipotizzate, in presenza delle interferenze verbali e di *spatial tapping*.

L'ipotesi della ricerca sulla modulazione da parte dell'ambiente ormonale sulle donne, per quanto riguarda la performance nei test di rotazione mentale di oggetti

tridimensionali (MRT), non ha rilevato significative evidenze degli effetti né delle fasi del ciclo, né nell'assunzione di contraccettivi orali.

Lo studio pilota è stato condotto per indagare sulle prestazioni nel compito di rotazione mentale di oggetti tridimensionali in condizioni ecologiche. Infatti, i partecipanti hanno svolto una parte della ricerca procurandosi un affaticamento in modo naturalistico, con la fase di controllo svolta prima di un duro allenamento di triathlon e la fase sperimentale dopo l'allenamento, completando il MRT-A nelle due fasi. Dall'analisi dei risultati è emersa una significativa differenza tra gli uomini e le donne nella fase post-sforzo ($d=2.38$). In considerazione degli approfondimenti svolti, potremmo ipotizzare da un punto di vista evuzionistico una certa validità dei concetti espressi dalla *Hunter-Gather Hypothesis*.

Infine, prossimi eventuali studi che avranno come obiettivo quello di indagare le vulnerabilità di genere, dovranno studiare protocolli più mirati ad una efficace interferenza sul compito di abilità spaziale ed applicarli su un campione più ampio. Ulteriori studi potranno fare chiarezza sull'influenza dell'ambiente ormonale nelle abilità visuo-spaziale, che data la sua difficoltà, richiede disegni di ricerca longitudinali e programmati in base a dati precisi sui livelli ormonali rilevati in laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

- Aleman, A., Bronk, E., Kessels, R. P., Koppeschaar, H. P., & van Honk, J. (2004). A single administration of testosterone improves visuospatial ability in young women. *Psychoneuroendocrinology*, *29*(5), 612–617. [https://doi.org/10.1016/S0306-4530\(03\)00089-1](https://doi.org/10.1016/S0306-4530(03)00089-1)
- Alexander, G. M. (2005). Memory for face locations: Emotional cues alter sex differences in spatial abilities. *Evolution and Human Behavior*, *26*, 352-362.
- Alexander, G. M., & Son, T. (2007). Androgens and eye movements in women and men during a test of mental rotation ability. *Hormones and Behavior*, *52*(2), 197-204.
- Alexander, G. M., Packard, M. G., & Peterson, B. S. (2002). Sex and spatial position effects on object location memory following intentional learning of object identities. *Neuropsychologia*, *40*(8), 1516–1522.
- Alexander, J., & Stimson W.H. (1988). Sex hormones and the course of parasitic infection. *Parasitol Today*, *4*:189–193.
- Anderson, K. J., & Leaper, C. (1998). Meta-analyses of gender effects on conversational interruption: Who, what, when, where, and how. *Sex roles*, *39*(3-4), 225-252.
- Andersson, M. (1994). *Sexual selection*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Allen, A. M., McRae-Clark, A. L., Carlson, S., Saladin, M. E., Gray, K. M., Wetherington, C. L., McKee, S. A., & Allen, S. S. (2016). Determining menstrual phase in human biobehavioral research: A review with recommendations. *Experimental and clinical psychopharmacology*, *24*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1037/pha0000057>
- Archer, J., & Coyne, S. M. (2005). An integrated review of indirect, relational, and social aggression. *Personality and social psychology review: an official journal of the Society for Personality and Social Psychology, Inc*, *9*(3), 212–230. https://doi.org/10.1207/s15327957pspr0903_2
- Arnold, A. P., & Gorski, R. A. (1984). Gonadal steroid induction of structural sex differences in the central nervous system. *Annual review of neuroscience*, *7*, 413–442. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.07.030184.002213>
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Clarendon Press/Oxford University Press
- Baenninger, M., & Newcombe, N. (1989). The role of experience in spatial test performance: A meta-analysis. *Sex Roles: A Journal of Research*, *20*(5-6), 327–344. <https://doi.org/10.1007/BF00287729>

- Barnfield A. M. (1999). Development of sex differences in spatial memory. *Perceptual and motor skills*, 89(1), 339–350. <https://doi.org/10.2466/pms.1999.89.1.339>
- Baron-Cohen S. (2002). The extreme male brain theory of autism. *Trends in cognitive sciences*, 6(6), 248–254. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(02\)01904-6](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(02)01904-6)
- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism-spectrum quotient (AQ): Evidence from asperger syndrome/high-functioning autism, males and females, scientists and mathematicians. *Journal of autism and developmental disorders*, 31, 5-17.
- Becker, J. B., Breedlove, S. M., Crews, D., & McCarthy, M. M. (Eds.). (1992). *Behavioral endocrinology* (2002, 2nd ed.). MIT Press.
- Berman, K. F., Schmidt, P. J., Rubinow, D. R., Danaceau, M. A., Van Horn, J. D., Esposito, G., Ostrem, J. L., & Weinberger, D. R. (1997). Modulation of cognition-specific cortical activity by gonadal steroids: a positron-emission tomography study in women. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94(16), 8836–8841. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.16.8836>
- Bixo, M., Bäckström, T., Winblad, B., & Andersson, A. (1995). Estradiol and testosterone in specific regions of the human female brain in different endocrine states. *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*, 55(3-4), 297–303. [https://doi.org/10.1016/0960-0760\(95\)00179-4](https://doi.org/10.1016/0960-0760(95)00179-4)
- Bonne, O., Vythilingam, M., Inagaki, M., Wood, S., Neumeister, A., Nugent, A. C., Snow, J., Luckenbaugh, D. A., Bain, E. E., Drevets, W. C., & Charney, D. S. (2008). Reduced posterior hippocampal volume in posttraumatic stress disorder. *The Journal of clinical psychiatry*, 69(7), 1087–1091. <https://doi.org/10.4088/jcp.v69n0707>
- Bremner J. D. (2006). Traumatic stress: effects on the brain. *Dialogues in clinical neuroscience*, 8(4), 445–461. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2006.8.4/jbremner>
- Brod, G., Lindenberger, U., Werkle-Bergner, M., & Shing, Y. L. (2015). Differences in the neural signature of remembering schema-congruent and schema-incongruent events. *NeuroImage*, 117, 358–366. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.05.086>
- Brown, T. I., Gagnon, S. A., & Wagner, A. D. (2020). Stress Disrupts Human Hippocampal-Prefrontal Function during Prospective Spatial Navigation and Hinders Flexible Behavior. *Current biology: CB*, 30(10), 1821–1833.e8. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.03.006>
- Brucato, M., Nazareth, A., & Newcombe, N. S. (2022). Longitudinal development of cognitive mapping from childhood to adolescence. *Journal of experimental child psychology*, 219, 105412. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2022.105412>
- Brunyé, T. T., Wood, M. D., Houck, L. A., & Taylor, H. A. (2017). The path more travelled: Time pressure increases reliance on familiar route-based strategies during

navigation. *Quarterly journal of experimental psychology* (2006), 70(8), 1439–1452. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1187637>

Bullmore, E., & Sporns, O. (2012). The economy of brain network organization. *Nature reviews. Neuroscience*, 13(5), 336–349. <https://doi.org/10.1038/nrn3214>

Buss, D. M. (2019). *Evolutionary psychology: The new science of the mind* (1999). Routledge. VI ed.

Butterfield, S. A., Lehnhard, R. A., Loovis, E. M., Coladarci, T., & Saucier, D. (2009). Grip strength performances by 5- to 19-year-olds. *Perceptual and motor skills*, 109(2), 362–370.

Cacioppo, J. T., Berntson, G. G., Adolphs, R., Carter, C. S., McClintock, M. K., Meaney, M. J., ... & Taylor, S. E. (Eds.). (2002). *Foundations in social neuroscience*. MIT press.

Caito, S. W., & Aschner, M. (2015). Mitochondrial Redox Dysfunction and Environmental Exposures. *Antioxidants & redox signaling*, 23(6), 578–595. <https://doi.org/10.1089/ars.2015.6289>

Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies* (No. 1). Cambridge University Press.

Casey, M. B., & Brabeck, M. M. (1989). Exceptions to the male advantage on a spatial task: Family handedness and college major as factors identifying women who excel. *Neuropsychologia*, 27(5), 689-696.

Chen, A. C., & Etkin, A. (2013). Hippocampal network connectivity and activation differentiates post-traumatic stress disorder from generalized anxiety disorder. *Neuropsychopharmacology: official publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, 38(10), 1889–1898. <https://doi.org/10.1038/npp.2013.122>

Clark, A. S., & Goldman-Rakic, P. S. (1989). Gonadal hormones influence the emergence of cortical function in nonhuman primates. *Behavioral neuroscience*, 103(6), 1287–1295. <https://doi.org/10.1037//0735-7044.103.6.1287>

Clark, A. S., MacLusky, N. J., & Goldman-Rakic, P. S. (1988). Androgen binding and metabolism in the cerebral cortex of the developing rhesus monkey. *Endocrinology*, 123(2), 932–940. <https://doi.org/10.1210/endo-123-2-932>

Clint, E. K., Sober, E., Garland Jr, T., & Rhodes, J. S. (2012). Male superiority in spatial navigation: adaptation or side effect? *The Quarterly review of biology*, 87(4), 289-313.

Cohen, A., Zemel, O. C., Colodner, R., Abu-Shkara, R., Masalha, R., Mahagna, L., & Barel, E. (2020). The Role of Endocrine Stress Systems and Sex Hormones in the Enhancing Effects of Stress on Mental Rotation Capabilities. *Brain sciences*, 10(11), 791. <https://doi.org/10.3390/brainsci10110791>

- Collins, D. W., & Kimura, D. (1997). A large sex difference on a two-dimensional mental rotation task. *Behavioral neuroscience*, 111(4), 845–849. <https://doi.org/10.1037//0735-7044.111.4.845>
- Colom, R., Stein, J. L., Rajagopalan, P., Martínez, K., Hermel, D., Wang, Y., Álvarez-Linera, J., Burgaleta, M., Quiroga, M. Á., Shih, P. C., & Thompson, P. M. (2013). Hippocampal structure and human cognition: key role of spatial processing and evidence supporting the efficiency hypothesis in females. *Intelligence*, 41(2), 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.01.002>
- Cook, C. M., & Saucier, D. M. (2010). Mental rotation, targeting ability and Baron-Cohen's empathizing–systemizing theory of sex differences. *Personality and individual differences*, 49(7), 712–716.
- Cooke-Simpson, A., & Voyer, D. (2007). Confidence and gender differences on the Mental Rotations Test. *Learning and Individual Differences*, 17(2), 181–186.
- Cosmides, L., & Tooby, J. (2013). Evolutionary psychology: new perspectives on cognition and motivation. *Annual review of psychology*, 64, 201–229. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.121208.131628>
- Courvoisier, D. S., Renaud, O., Geiser, C., Paschke, K., Gaudy, K., & Jordan, K. (2013). Sex hormones and mental rotation: an intensive longitudinal investigation. *Hormones and behavior*, 63(2), 345–351. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2012.12.007>
- Crook J.H. (1972). *Sexual Selection and the Descent of Man Sexual selection, dimorphism, and social organization in the primates, Sexual Selection and the Descent of Man*, Aldine Publishing Company.
- Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. Murray, London.
- Darwin, C., 1871. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. John Murray, London.
- Dias-Ferreira, E., Sousa, J. C., Melo, I., Morgado, P., Mesquita, A. R., Cerqueira, J. J., Costa, R. M., & Sousa, N. (2009). Chronic stress causes frontostriatal reorganization and affects decision-making. *Science (New York, N.Y.)*, 325(5940), 621–625. <https://doi.org/10.1126/science.1171203>
- Duff, S. J., & Hampson, E. (2001). A sex difference on a novel spatial working memory task in humans. *Brain and cognition*, 47(3), 470–493. <https://doi.org/10.1006/brcg.2001.1326>
- Eals, M., & Silverman, I. (1994). The hunter-gatherer theory of spatial sex differences: Proximate factors mediating the female advantage in recall of object arrays. *Ethology & Sociobiology*, 15(2), 95–105. [https://doi.org/10.1016/0162-3095\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0162-3095(94)90020-5)

- Ecuyer-Dab, I., & Robert, M. (2004). Have sex differences in spatial ability evolved from male competition for mating and female concern for survival?. *Cognition*, *91*(3), 221–257. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.09.007>
- Ecuyer-Dab, I., & Robert, M. (2007). The Female Advantage in Object Location Memory According to the Foraging Hypothesis: A Critical Analysis. *Human nature (Hawthorne, N.Y.)*, *18*(4), 365–385. <https://doi.org/10.1007/s12110-007-9022-0>
- Etkin, A., & Wager, T. D. (2007). Functional neuroimaging of anxiety: a meta-analysis of emotional processing in PTSD, social anxiety disorder, and specific phobia. *The American journal of psychiatry*, *164*(10), 1476–1488. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2007.07030504>
- Fechner, P.Y. (2003) The biology of puberty: New developments in sex differences In: Hayward C, editors. *Gender Differences at Puberty*. Cambridge University Press. pp. 17–28.
- Folstad, I., Karter A.J. (1992). Parasites, Bright Males, and the Immunocompetence Handicap. *The American Naturalist*, *139*:603–622.
- Gagnon, S. A., & Wagner, A. D. (2016). Acute stress and episodic memory retrieval: neurobiological mechanisms and behavioral consequences. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1369*(1), 55–75. <https://doi.org/10.1111/nyas.12996>
- Gagnon, S. A., Waskom, M. L., Brown, T. I., & Wagner, A. D. (2019). Stress Impairs Episodic Retrieval by Disrupting Hippocampal and Cortical Mechanisms of Remembering. *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991)*, *29*(7), 2947–2964. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhy162>
- Galea, L. A., & Kimura, D. (1993). Sex differences in route-learning. *Personality and individual differences*, *14*(1), 53-65.
- Gates, A.I. (1961) Sex differences in reading ability. *Elementary School Journal*, *61*, 431-434
- Gaulin, S. J. (1992). Evolution of sex difference in spatial ability. *American Journal of Physical Anthropology*, *35*(S15), 125-151.
- Geary D. C. (2015). *Evolution of vulnerability: Implications for sex differences in health and development*. Academic Press.
- Geary D. C. (2016). Evolution of Sex Differences in Trait- and Age-Specific Vulnerabilities. *Perspectives on psychological science: a journal of the Association for Psychological Science*, *11*(6), 855–876. <https://doi.org/10.1177/1745691616650677>
- Geary D. C. (2017). Evolutionary framework for identifying sex- and species-specific vulnerabilities in brain development and functions. *Journal of neuroscience research*, *95*(1-2), 355–361. <https://doi.org/10.1002/jnr.23794>

Geary D. C. (2019). Evolutionary perspective on sex differences in the expression of neurological diseases. *Progress in neurobiology*, 176, 33–53. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2018.06.001>

Geary D. C. (2021). Now you see them, and now you don't: An evolutionarily informed model of environmental influences on human sex differences. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 125, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.02.020>

Geary, D. C., Winegard, B., & Winegard, B. (2014). Reflections on the evolution of human sex differences: Social selection and the evolution of competition among women. *Evolutionary perspectives on human sexual psychology and behavior*, 393–412.

Geary, D.C. (2010). *Male, female: the evolution of human sex differences* (1998, first ed). Washington, DC: American Psychological Association

Geer, E. A., & Ganley, C. (2023). Sex differences in social and spatial perspective taking: A replication and extension of Tarampi et al. (2016). *Quarterly journal of experimental psychology* (2006), 76(1), 93–108. <https://doi.org/10.1177/17470218221085117>

Geiser, C., Lehmann, W., & Eid, M. (2006). Separating "rotators" from "nonrotators" in the mental rotations test: A multigroup latent class analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 41(3), 261–293.

Gianaros, P. J., Jennings, J. R., Sheu, L. K., Greer, P. J., Kuller, L. H., & Matthews, K. A. (2007). Prospective reports of chronic life stress predict decreased grey matter volume in the hippocampus. *NeuroImage*, 35(2), 795–803. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.10.045>

Goldstein, D., Haldane, D., & Mitchell, C. (1990). Sex differences in visual-spatial ability: the role of performance factors. *Memory & Cognition*, 18, 546–550.

Gray, J. P., & Wolfe, L. D. (1980). Height and sexual dimorphism of stature among human societies. *American journal of physical anthropology*, 53(3), 441–456.

Grimm, A., Mensah-Nyagan, A. G., & Eckert, A. (2016). Alzheimer, mitochondria and gender. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 67, 89–101. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.04.012>

Gunalp, P., Chrastil, E. R., & Hegarty, M. (2021). Directionality eclipses agency: How both directional and social cues improve spatial perspective taking. *Psychonomic Bulletin & Review*, 28, 1289–1300. <https://doi.org/10.3758/s13423-021-01896-y>

Gunalp, P., Moossaian, T., & Hegarty, M. (2019). Spatial perspective taking: Effects of social, directional, and interactive cues. *Memory & Cognition*, 47(5), 1031–1043. <https://doi.org/10.3758/s13421-019-00910-y>

- Halpern, D. F., & LaMay, M. L. (2000). The smarter sex: A critical review of sex differences in intelligence. *Educational Psychology Review*, 12(2), 229–246. <https://doi.org/10.1023/A:1009027516424>
- Hammer, M. F., Mendez, F. L., Cox, M. P., Woerner, A. E., & Wall, J. D. (2008). Sex-biased evolutionary forces shape genomic patterns of human diversity. *PLoS genetics*, 4(9), e1000202.
- Hampson E. (1990). Variations in sex-related cognitive abilities across the menstrual cycle. *Brain and cognition*, 14(1), 26–43. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(90\)90058-v](https://doi.org/10.1016/0278-2626(90)90058-v)
- Hampson, E. (1995). Spatial cognition in humans: possible modulation by androgens and estrogens. *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, 20(5), 397.
- Hampson, E., Levy-Cooperman, N., & Korman, J. M. (2014). Estradiol and mental rotation: relation to dimensionality, difficulty, or angular disparity?. *Hormones and behavior*, 65(3), 238–248. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2013.12.016>
- Hampson, E., & Kimura, D. (1992) Sex differences and ormonal influeces on cognitive function in humans. In Becker, J. B., Breedlove, S. M., Crews, D., & McCarthy, M. M. (Eds.). *Behavioral Endocrinology*. Pp 357-398
- Handa, R. J., Connolly, P. B., & Resko, J. A. (1988). Ontogeny of cytosolic androgen receptors in the brain of the fetal rhesus monkey. *Endocrinology*, 122(5), 1890–1896. <https://doi.org/10.1210/endo-122-5-1890>
- Harris, L. J. (1978). Sex Differences in Spatial Ability: Possible Environment. Genetic and Neurological Factor. In M. Kinsbourne (Ed.), *Asymmetrical Functions of the Brain*, New York: Cambridge University Press. Pp. 405-202
- He, Q., Han, A. T., Churaman, T. A., & Brown, T. I. (2021). The role of working memory capacity in spatial learning depends on spatial information integration difficulty in the environment. *Journal of experimental psychology. General*, 150(4), 666–685. <https://doi.org/10.1037/xge0000972>
- Hegarty, M., & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32, 175–191. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2003.12.001>
- Hegarty, M., He, C., Boone, A. P., Yu, S., Jacobs, E. G., & Chrastil, E. R. (2023). Understanding Differences in Wayfinding Strategies. *Topics in cognitive science*, 15(1), 102–119. <https://doi.org/10.1111/tops.12592>
- Heil, M., & Jansen-Osmann, P. (2008). Sex differences in mental rotation with polygons of different complexity: Do men utilize holistic processes whereas women prefer piecemeal ones? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 683–689.

- Herlitz, A., & Lovén, J. (2013). Sex differences and the own-gender bias in face recognition: A meta-analytic review. *Visual Cognition*, 21(9-10), 1306–1336. <https://doi.org/10.1080/13506285.2013.823140>
- Herlitz, A., Nilsson, L. G., & Bäckman, L. (1997). Gender differences in episodic memory. *Memory & cognition*, 25(6), 801–811. <https://doi.org/10.3758/bf03211324>
- Hirnstein, M., Bayer, U., & Hausmann, M. (2009). Sex-specific response strategies in mental rotation. *Learning and Individual Differences*, 19(2), 225–228. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(01\)00215-9](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(01)00215-9)
- Huang, X., & Voyer, D. (2017). Timing and sex effects on a spatial orientation test. *Spatial Cognition and Computation*, 17, 251–272. doi: 10.1080/13875868.2017.1319836A
- Hughes, S.M., Gallup, G.G. (2003). Sex differences in morphological predictors of sexual behavior: Shoulder to hip and waist to hip ratios. *Evolution and Human Behavior*, 24:173–178.
- Humphreys, L. G., Lubinski, D., & Yao, G. (1993). Utility of predicting group membership and the role of spatial visualization in becoming an engineer, physical scientist, or artist. *The Journal of applied psychology*, 78(2), 250–261. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.78.2.250>
- Imuta, K., Henry, J. D., Slaughter, V., Selcuk, B., & Ruffman, T. (2016). Theory of mind and prosocial behavior in childhood: A meta-analytic review. *Developmental psychology*, 52(8), 1192–1205. <https://doi.org/10.1037/dev0000140>
- Jacobs, A. C., & Zuk, M. (2012). Sexual selection and parasites: Do mechanisms matter? In G. Demas, & R. Nelson (Eds.), *Ecoimmunology*, pp. 468–496.
- Jacobs, L. F. (1996). Sexual selection and the brain. *Trends in Ecology & Evolution*, 11(2), 82–86.
- James, TW e Kimura, D. (1997). Differenze di sesso nel ricordare le posizioni degli oggetti in un array: spostamenti di posizione rispetto a scambi di posizione. *Evoluzione e comportamento umano*, 18 (3), 155 -163. [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(97\)00004-4](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(97)00004-4)
- Jones, C. M., Braithwaite, V. A., & Healy, S. D. (2003). The evolution of sex differences in spatial ability. *Behavioral neuroscience*, 117(3), 403.
- Jordan, K., Wuestenberg, T., Heinze, H. -J., Peters, M., & Jaencke, L. (2002). Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks. *Neuropsychologia*, 40, 2397–2408.
- Kaas, J.H. 1982. The segregation of function in the nervous system: Why do the sensory systems have so many subdivisions? *Contributions to Sensory Physiology* 7, 201-240.

- Kimura D. (1996). Sex, sexual orientation, and sex hormones influence human cognitive function. *Current opinion in neurobiology*, 6(2), 259–263. [https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(96\)80081-x](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(96)80081-x)
- Koch, R. E., Josefson, C. C., & Hill, G. E. (2017). Mitochondrial function, ornamentation, and immunocompetence. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 92(3), 1459–1474. <https://doi.org/10.1111/brv.12291>
- Korol, D. L., Malin, E. L., Borden, K. A., Busby, R. A., & Couper-Leo, J. (2004). Shifts in preferred learning strategy across the estrous cycle in female rats. *Hormones and behavior*, 45(5), 330–338. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2004.01.005>
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation spatial ability and spatial orientation ability. *Memory & cognition*, 29(5), 745–756. <https://doi.org/10.3758/bf03200477>
- Kozhevnikov, M., Motes, M. A., Rasch, B., & Blajenkova, O. (2006). Perspective-Taking vs. Mental Rotation Transformations and How They Predict Spatial Navigation Performance. *Applied Cognitive Psychology*, 20(3), 397–417. <https://doi.org/10.1002/acp.1192>
- Kramer, J. H., Delis, D. C., Kaplan, E., O'Donnell, L., & Prifitera, A. (1997). Developmental sex differences in verbal learning. *Neuropsychology*, 11(4), 577–584. <https://doi.org/10.1037//0894-4105.11.4.577>
- Krasnow, M. M., Truxaw, D., Gaulin, S. J., New, J., Ozono, H., Uono, S., Ueno, T., & Minemoto, K. (2011). Cognitive adaptations for gathering-related navigation in humans. *Evolution and human behavior: official journal of the Human Behavior and Evolution Society*, 32(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2010.07.003>
- Lartigue, L., & Faustin, B. (2013). Mitochondria: metabolic regulators of innate immune responses to pathogens and cell stress. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 45(9), 2052–2056.
- Lassek, W.D., Gaulin, S.J.C. (2009). Costs and benefits of fat-free muscle mass in men: relationship to mating success, dietary requirements, and native immunity. *Evolution and Human Behavior*, 30:322–328.
- Leakey MG, Feibel CS, McDougall I, Ward C, Walker A. New specimens and confirmation of an early age for Australopithecus anamensis. *Nature*. 1998 May 7;393(6680):62-6. doi: 10.1038/29972. PMID: 9590689.
- Lewin, C., Wolgers, G., & Herlitz, A. (2001). Sex differences favoring women in verbal but not in visuospatial episodic memory. *Neuropsychology*, 15(2), 165–173. <https://doi.org/10.1037//0894-4105.15.2.165>
- Liben, L. S., Susman, E. J., Finkelstein, J. W., Chinchilli, V. M., Kunselman, S., Schwab, J., ... & Kulin, H. E. (2002). The effects of sex steroids on spatial performance: A review and an experimental clinical investigation. *Developmental Psychology*, 38(2), 236.

- Lindborg, L. H., Cross, C. P., & Boothroyd, L. G. (2022). A meta-analysis of the association between male dimorphism and fitness outcomes in humans. *eLife*, *11*, e65031. <https://doi.org/10.7554/eLife.65031>
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child development*, 1479-1498. London.
- Lohman, D. F. (1979). *Spatial ability: A review and reanalysis of the correlational literature*. Technical report. School of Education, Stanford University, Stanford, CA.
- MacLusky, N. J., Naftolin, F., & Goldman-Rakic, P. S. (1986). Estrogen formation and binding in the cerebral cortex of the developing rhesus monkey. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *83*(2), 513–516. <https://doi.org/10.1073/pnas.83.2.513>
- Maisey, D. S., Vale, E. L., Cornelissen, P. L., & Tovée, M. J. (1999). Characteristics of male attractiveness for women. *Lancet (London, England)*, *353*(9163), 1500.
- Malinowski, J. C., & Gillespie, W. T. (2001). Individual differences in performance on a large-scale, real-world wayfinding task. *Journal of Environmental Psychology*, *21*(1), 73-82.
- Malthus, T. R. (1798). *An essay on the principle of population* (Ed. 1986). The Works of Thomas Robert Malthus, London, Pickering & Chatto Publishers, 1, 1-139.
- Marchette, S. A., Bakker, A., & Shelton, A. L. (2011). Cognitive mappers to creatures of habit: differential engagement of place and response learning mechanisms predicts human navigational behavior. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, *31*(43), 15264–15268. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3634-11.2011>
- Marlowe, F. W. (2007). Hunting and gathering: The human sexual division of foraging labor. *Cross-Cultural Research: The Journal of Comparative Social Science*, *41*(2), 170–195. <https://doi.org/10.1177/1069397106297529>
- Maxim, P., & Brown, T. I. (2023). Toward an Understanding of Cognitive Mapping Ability Through Manipulations and Measurement of Schemas and Stress. *Topics in cognitive science*, *15*(1), 75–101. <https://doi.org/10.1111/tops.12576>
- McBurney, D. H., Gaulin, S. J. C., Devineni, T., & Adams, C. (1997). Superior spatial memory of women: Stronger evidence for the gathering hypothesis. *Evolution and Human Behavior*, *18*(3), 165–174. [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(97\)00001-9](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(97)00001-9)
- Miller, I. N., & Cronin-Golomb, A. (2010). Gender differences in Parkinson's disease: clinical characteristics and cognition. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*, *25*(16), 2695–2703. <https://doi.org/10.1002/mds.23388>
- Money, J., Alexander, D., & Walker, H. T. (1965). *A standardized road-map test of direction sense: Manual*. Baltimore, MD: Johns Hopkins Press.

Morley, M. E. (1957) *The development and disorders of speech*. London: In Chilhodd Livingstone.

Nash, S. C. (1979). *Sex role as mediator of intellectual functioning*. Wittig MA Petersen AC 263302 editors. Sex-related differences in cognitive functioning: Developmental issues.

National Science Foundation. (2011). *Women, minorities, and persons with disabilities in science and engineering: 2011*. Arlington: National Science Foundation. Retrieved from <http://www.nsf.gov/statistics/wmpd/pdf/wmpd2011.pdf>.

Nazareth, A., Huang, X., Voyer, D., & Newcombe, N. (2019). A meta-analysis of sex differences in human navigation skills. *Psychonomic bulletin & review*, 26(5), 1503–1528. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01633-6>

Neisser, U. C., Boodoo, G., Bouchard, T. J., Jr., Boykin, A. W., Brody, N., Ceci, S. J., et al. (1996). Intelligence: Knowns and unknowns. *American Psychologist*, 51, 77–101. doi:10.1037/0003-066X.51.2.77

New, J., Cosmides, L., & Tooby, J. (2007). Category-specific attention for animals reflects ancestral priorities, not expertise. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(42), 16598–16603. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703913104>

Newcombe, N. S., Hegarty, M., & Uttal, D. (2023). Building a Cognitive Science of Human Variation: Individual Differences in Spatial Navigation. *Topics in cognitive science*, 15(1), 6–14. <https://doi.org/10.1111/tops.12626>

O'Leary, O. F., & Cryan, J. F. (2014). A ventral view on antidepressant action: roles for adult hippocampal neurogenesis along the dorsoventral axis. *Trends in pharmacological sciences*, 35(12), 675–687. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2014.09.011>

Öhman, A. (2002). Automaticity and the amygdala: Nonconscious responses to emotional faces. *Current Directions in Psychological Science*, 11(2), 62–66. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00169>

Pauls, F., Petermann, F., & Lepach, A. C. (2013). Gender differences in episodic memory and visual working memory including the effects of age. *Memory (Hove, England)*, 21(7), 857–874. <https://doi.org/10.1080/09658211.2013.765892>

Peragine, D., Simeon-Spezzaferro, C., Brown, A., Gervais, N. J., Hampson, E., & Einstein, G. (2020). Sex difference or hormonal difference in mental rotation? The influence of ovarian milieu. *Psychoneuroendocrinology*, 115, <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2019.104488>

Peters M. (2005). Sex differences and the factor of time in solving Vandenberg and Kuse mental rotation problems. *Brain and cognition*, 57(2), 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.08.052>

- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R., & Richardson, C. (1995). A redrawn Vandenberg and Kuse mental rotations test: different versions and factors that affect performance. *Brain and cognition*, 28(1), 39–58. <https://doi.org/10.1006/brcg.1995.1032>
- Pezaris, E., & Casey, M. B. (1991). Girls who use “masculine” problem-solving strategies on a spatial task: proposed genetic and environmental factors. *Brain and Cognition*, 17, 1–22.
- Piaget, J. (1968). Six psychological studies. New York: Vintage Books
- Picard, M., Juster, R. P., & McEwen, B. S. (2014). Mitochondrial allostatic load puts the 'gluc' back in glucocorticoids. *Nature reviews. Endocrinology*, 10(5), 303–310. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2014.22>
- Pomerantz, S. M., Fox, T. O., Sholl, S. A., Vito, C. C., & Goy, R. W. (1985). Androgen and estrogen receptors in fetal rhesus monkey brain and anterior pituitary. *Endocrinology*, 116(1), 83–89. <https://doi.org/10.1210/endo-116-1-83>
- Posner, M. I. (1994). Attention: the mechanisms of consciousness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(16), 7398-7403.
- Power, J. D., Schlaggar, B. L., Lessov-Schlaggar, C. N., & Petersen, S. E. (2013). Evidence for hubs in human functional brain networks. *Neuron*, 79(4), 798–*Psychoneuroendocrinology*, 29(5), 612-617.
- Puts, D. A., Apicella, C. L., & Cárdenas, R. A. (2012). Masculine voices signal men's threat potential in forager and industrial societies. *Proceedings. Biological sciences*, 279(1728), 601–609.
- Quesque, F., Foncelle, A., Chabanat, É., Jacquin-Courtois, S., & Rossetti, Y. (2020). Take a Seat and Get Into Its Shoes! When Humans Spontaneously Represent Visual Scenes From the Point of View of Inanimate Objects. *Perception*, 49(12), 1333–1347. <https://doi.org/10.1177/0301006620976980>
- Reilly, D., & Neumann, D. L. (2013). Gender-role differences in spatial ability: A meta-analytic review. *Sex Roles: A Journal of Research*, 68(9-10), 521–535. <https://doi.org/10.1007/s11199-013-0269-0>
- Roberts, M.L., Buchanan, K.L. & Evans, M.R. (2004) Testing the immunocompetence handicap hypothesis: a review of the evidence. *Animal Behaviour*, 68, 227– 239.
- Roselli, C. E., & Resko, J. A. (1986). Effects of gonadectomy and androgen treatment on aromatase activity in the fetal monkey brain. *Biology of reproduction*, 35(1), 106–112. <https://doi.org/10.1095/biolreprod35.1.106>
- Sapolsky, R. M., Romero, L. M., & Munck, A. U. (2000). How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocrine reviews*, 21(1), 55–89.

- Saucier, D., Bowman, M., & Elias, L. (2003). Sex differences in the effect of articulatory or spatial dual-task interference during navigation. *Brain and cognition*, 53(2), 346–350. [https://doi.org/10.1016/s0278-2626\(03\)00140-4](https://doi.org/10.1016/s0278-2626(03)00140-4)
- Schwabe, L., & Wolf, O. T. (2013). Stress and multiple memory systems: from 'thinking' to 'doing'. *Trends in cognitive sciences*, 17(2), 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.12.001>
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science* (New York, N.Y.), 171(3972), 701–703. <https://doi.org/10.1126/science.171.3972.701>
- Sherman J. A. (1967). Problem of sex differences in space perception and aspects of intellectual functioning. *Psychological review*, 74(4), 290–299. <https://doi.org/10.1037/h0024723>
- Shields, G. S., Sazma, M. A., McCullough, A. M., & Yonelinas, A. P. (2017). The effects of acute stress on episodic memory: A meta-analysis and integrative review. *Psychological bulletin*, 143(6), 636–675. <https://doi.org/10.1037/bul0000100>
- Silverman, I., & Eals, M. (1992). Sex differences in spatial abilities: Evolutionary theory and data. In J. H. Barkow, L. Cosmides, & J. Tooby (Eds.), *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture* (pp. 533–549). Oxford University Press.
- Silverman, I., & Phillips, K. (1993). Effects of estrogen changes during the menstrual cycle on spatial performance. *Ethology and Sociobiology*, 14(4), 257-269.
- Silverman, I., Choi, J. & Peters, M. The Hunter-Gatherer Theory of Sex Differences in Spatial Abilities: Data from 40 Countries. *Arch Sex Behav* 36, 261–268 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10508-006-9168-6>
- Silverman, I., I, Choi, J., Mackewn, A., Fisher, M., Moro, J., & Olshansky, E. (2000). Evolved mechanisms underlying wayfinding. further studies on the hunter-gatherer theory of spatial sex differences. *Evolution and human behavior: official journal of the Human Behavior and Evolution Society*, 21(3), 201–213. [https://doi.org/10.1016/s1090-5138\(00\)00036-2](https://doi.org/10.1016/s1090-5138(00)00036-2)
- Singh, D. (1993). Adaptive significance of female physical attractiveness: role of waist-to-hip ratio. *Journal of personality and social psychology*, 65(2), 293–307.
- Smith, R. J., & Jungers, W. L. (1997). Body mass in comparative primatology. *Journal of human evolution*, 32(6), 523–559.
- Solomon E.P., Martin E.C., Martin W. M., Berg R. L. (2017). *Elementi di Biologia*. VII ed., EdiSES, 381-387
- Stanton, S. J., Wirth, M. M., Waugh, C. E., & Schultheiss, O. C. (2009). Endogenous testosterone levels are associated with amygdala and ventromedial prefrontal cortex responses to anger faces in men but not women. *Biological psychology*, 81(2), 118–122. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.03.004>

- Swaddle, J. P., & Reiersen, G. W. (2002). Testosterone increases perceived dominance but not attractiveness in human males. *Proceedings. Biological sciences*, 269(1507), 2285–2289. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2165>
- Tanner, J. M. (1990). *Foetus into man: Physical growth from conception to maturity*. Harvard University Press.
- Tarampi, M. R., Heydari, N., & Hegarty, M. (2016). A Tale of Two Types of Perspective Taking: Sex Differences in Spatial Ability. *Psychological science*, 27(11), 1507–1516. <https://doi.org/10.1177/0956797616667459>
- Thompson, A. E., & Voyer, D. (2014). Sex differences in the ability to recognise non-verbal displays of emotion: a meta-analysis. *Cognition & emotion*, 28(7), 1164–1195. <https://doi.org/10.1080/02699931.2013.875889>
- Thurstone, L. L. (1950). Some primary abilities in visual thinking. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 94(6), 517–521.
- Tooby, J., & Cosmides, L. (1995). Mapping the evolved functional organization of mind and brain. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 1185–1197). The MIT Press.
- Tooby, J., & DeVore, I. (1987). The reconstruction of hominid behavioral evolution through strategic modeling. *The evolution of human behavior: Primate models*, 183–237.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and motor skills*, 47(2), 599–604. <https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>
- Voyer, D., & Saunders, K. A. (2004). Gender differences on the mental rotations test: a factor analysis. *Acta Psychologica*, 117, 79–94.
- Voyer, D., Postma, A., Brake, B., & Imperato-McGinley, J. (2007). Gender differences in object location memory: a meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, 14(1), 23–38. <https://doi.org/10.3758/bf03194024>
- Voyer, D., Voyer, S. D., & Saint-Aubin, J. (2017). Sex differences in visual-spatial working memory: A meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, 24(2), 307–334. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1085-7>
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological bulletin*, 117(2), 250–270. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.117.2.250>
- Watson N. V. (2001). Sex differences in throwing: monkeys having a fling. *Trends in cognitive sciences*, 5(3), 98–99. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01595-3](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01595-3)
- Wedekind, C., & Folstad, I. (1994). Adaptive or nonadaptive immunosuppression by sex hormones. *American Naturalist*, 143:936–938.

- Weeden, J., & Sabini, J. (2007). Subjective and objective measures of attractiveness and their relation to sexual behavior and sexual attitudes in university students. *Archives of sexual behavior*, 36(1), 79–88.
- Weinberg, S. E., Sena, L. A., & Chandel, N. S. (2015). Mitochondria in the regulation of innate and adaptive immunity. *Immunity*, 42(3), 406–417.
- Weiss, E. M., Kemmler, G., Deisenhammer, E. A., Fleischhacker, W. W., & Delazer, M. (2003). Sex differences in cognitive functions. *Personality and individual differences*, 35(4), 8
- West-Eberhard, M. J. (1979). Sexual selection, social competition, and evolution. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 123(4), 222-234.
- West, A. P., Shadel, G. S., & Ghosh, S. (2011). Mitochondria in innate immune responses. *Nature reviews. Immunology*, 11(6), 389–402.
- Weston, E. M., Friday, A. E., & Liò, P. (2007). Biometric evidence that sexual selection has shaped the hominin face. *PloS one*, 2(8), e710.
- Williams, G. C. (1966). *Adaptation and natural selection: A critique of some current evolutionary thought* (New Jersey). Princeton University Press.
- Zacks, J. M., Mires, J. O. N., Tversky, B., & Hazeltine, E. (2000). Mental spatial transformations of objects and perspective. *Spatial Cognition and Computation*, 2, 315-332.
- Zahavi A. (1975). Mate selection-a selection for a handicap. *Journal of theoretical biology*, 53(1), 205–214.
- Zuk, M. (1990). Reproductive strategies and disease susceptibility: an evolutionary viewpoint. *Parasitology today (Personal ed.)*, 6(7), 231–233.
- Zuk, M., Johnsen, T.S., & Maclarty, T. (1995). Endocrine-immune interactions, ornaments, and mate choice in red jungle fowl. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 260, 205 - 210.

Ringraziamenti

Un grazie speciale al mio splendido marito, Fabrizio, indispensabile nel perfezionare questo lavoro e al mio unico e meraviglioso figlio Riccardo, luce dei miei occhi: senza il vostro amore non ce l'avrei mai fatta. Un immenso grazie alla mia mamma, Raffaella, che mi ha insegnato a leggere e a scrivere prima di iniziare la scuola. A mio padre, Alberto, che veglia sempre su di me. Ai miei fratelli Maurizio e Marco, a mio figlioccio Alberto e mia nipote Alice e a tutti i miei parenti vicini e lontani che hanno sempre creduto nelle mie capacità: grazie.

A Costantino Salvatore, di nome e di fatto, amico fedele e brillante, per avermi sostenuto in ogni modo possibile e immaginabile e a Giovannino, quasi un fratello, ed alla sua instancabile penna rossa: per voi un grazie infinito.

Alla mia amica Dolores, al mio coach Fabrizio e a tutti i miei compagni del Triathlon Team Sassari, grazie per aver partecipato a questa ricerca, nonostante le vostre fatiche.

Alla mia stella polare, la professoressa Franca Deriu, straordinaria docente di Fisiologia Umana dell'Università di Sassari, grazie per la disponibilità, la fiducia e per aver messo a mia disposizione tutto ciò di cui avevo bisogno. Grazie a tutti e tutte i suoi collaboratori, siete il mio dream team. Un grazie particolare al professor Paolo Enrico ed al suo corso di Biologia del Comportamento: tutto questo è solo colpa sua.

A tutti i docenti del mio corso per i loro insegnamenti, in particolare un immenso grazie alla preziosa professoressa Annalisa Pelosi e a tutti i colleghi e le colleghe che mi hanno accompagnato in questo percorso di studi, tra cui Francesca, Simone, Paola, Ilaria, ed in particolare Samuele, amico ed inseparabile sostegno. Un grazie speciale ad Arianna, compagna di studi unica, insostituibile ed instancabile e di supporto alla ricerca in Sardegna ed alla sorridente Francesca per il sostegno morale e scientifico, dal suo corridoio e non solo.

A Charles Darwin e a tutti miei colleghi psicologi evuzionisti. Grazie a David M. Buss e David C. Geary, ma soprattutto infinitamente grazie al mio relatore, professor Davide Ponzi, per aver creduto in me e per avermi regalato un anno di incontri, confronti e ragionamenti che non dimenticherò mai. Lo ringrazio profondamente per aver stimolato ed accresciuto, con preziosi consigli e suggerimenti, la mia passione per la Psicobiologia Evoluzionistica.