



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione

Corso di Laurea Magistrale in Psicologia Clinica dello Sviluppo

Tesi di Laurea Magistrale

Ambiente di crescita e conseguenze sullo sviluppo cognitivo e sociale:
il caso dell'inquinamento da PFAS nella provincia di Vicenza

Growth environment and consequences on cognitive and social
development: the PFAS pollution case in the province of Vicenza

Relatrice:

Prof.ssa Scrimin Sara

Laureanda:

Sartori Rebecca

Matricola:

2055694

Anno Accademico 2022/2023

Sommario

INTRODUZIONE	III
1 AMBIENTE E SVILUPPO	1
1.1 BACKGROUND STORICO.....	1
1.2 I FATTORI DI RISCHIO.....	7
1.3 INQUINAMENTO AMBIENTALE E PFAS.....	11
2 FUNZIONI ESECUTIVE E REGOLAZIONE EMOTIVA	19
2.1 LE FUNZIONI ESECUTIVE.....	19
2.2 LA REGOLAZIONE EMOTIVA.....	24
2.3 UN NESSO FRA I DUE COSTRUTTI.....	29
2.4 EFFETTI DEGLI PFAS SULLE FUNZIONI ESECUTIVE.....	31
3 TONO CARDIACO VAGALE	33
3.1 REGOLAZIONE EMOTIVA IN FUNZIONE DEL SISTEMA NERVOSO AUTONOMO.....	33
3.2 SNA E INFLUENZE SUL SISTEMA CARDIACO.....	35
3.3 IL TONO CARDIACO VAGALE.....	39
3.3.1 <i>L'aritmia sinusale respiratoria</i>	41
3.4 TONO CARDIACO VAGALE E AUTOREGOLAZIONE.....	43
4 LA RICERCA	51
4.1 IL PROGETTO.....	51
4.2 OBIETTIVI SPECIFICI E IPOTESI DI RICERCA.....	51
4.3 FASI DEL PROGETTO.....	53
4.4 PARTECIPANTI.....	56
4.5 STRUMENTI DI RACCOLTA DEI DATI E MISURE UTILIZZATE.....	59
4.5.1 <i>Ambiente di sviluppo</i>	59
4.5.2 <i>Esposizione a PFAS</i>	59
4.5.3 <i>Tono Cardiac Vagale</i>	60
4.5.4 <i>Funzioni Esecutive</i>	61
4.6 ANALISI DEI DATI.....	62
5 RISULTATI	63
5.1 ANALISI PRELIMINARI.....	63
5.2 RELAZIONI TRA LE VARIABILI PFAS.....	67
5.3 RELAZIONI TRA LE ALTRE VARIABILI AMBIENTALI.....	71

6	DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	75
6.1	RELAZIONI TRA FUNZIONI ESECUTIVE E FATTORI CONNESSI ALL'ESPOSIZIONE	75
6.2	RELAZIONE TRA TONO CARDIACO VAGALE E VARIABILI PROXY	76
6.3	RELAZIONI TRA TEST E VARIABILI SOCIOECONOMICHE	77
6.4	LIMITI DELLO STUDIO	78
6.5	CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE.....	78
	BIBLIOGRAFIA.....	81

Introduzione

“Abbiamo reso il pianeta piuttosto inospitale per noi.

*Siamo arrivati al punto che le nostre risorse primarie sono contaminate,
e lo rimarranno a lungo.*

E molto spesso i livelli sono superiori a quelli di guardia.

Ormai ci muoviamo in uno spazio in cui non siamo più al sicuro”.

Afferma questo Ian Cousins, insegnante di chimica dell'ambiente all'università di Stoccolma (Horel, 2023); con queste parole ricche di preoccupazione e rassegnazione, egli riassume brevemente il suo punto di vista, del resto ampiamente condivisibile, che sottolinea la responsabilità da parte dell'umanità nei confronti dell'ambiente e della sua preservazione. In una visione che oggi sembra tristemente utopica, uno degli scopi principali di una generazione dovrebbe essere quello di assicurare un mondo migliore, o per lo meno uguale, per quelle a venire, ma questo sembra sempre più difficile. Ci ritroviamo infatti immersi in un ambiente fortemente antropizzato, in cui alla natura viene lasciato sempre meno spazio, e dove la crescita economica e demografica, per lo meno negli ultimi decenni, hanno comportato un incessante rilascio di sostanze nocive e inquinanti nell'aria, nell'acqua e nel sottosuolo che mettono, oltretutto, a rischio la salute di flora, fauna e dello stesso artefice, l'uomo. Andando a studiare quelli che sono gli effetti di questi agenti sull'essere umano, si è potuto constatare che questi fenomeni costituiscono un rischio in particolar modo per la salute dei bambini, che sono infatti più vulnerabili rispetto agli adulti a diversi tipi di sostanze tossiche.

La presente Tesi di Laurea sperimentale è nata con l'obiettivo di fornire una panoramica su un agente inquinante specifico, ossia le sostanze perfluoroalchiliche e polifluoroalchiliche (PFAS), giunte all'attenzione dei ricercatori solo nell'ultimo decennio. Queste sostanze, tossiche e nocive, inodori e incolori, sono state ampiamente utilizzate dagli anni Quaranta in poi nella produzione di materiali antiaderenti, antimacchia e idrorepellenti, che quindi ricoprono gli utensili di quotidiano consumo, quali per esempio vestiti, pentole antiaderenti, corde di chitarra, batterie di veicoli elettrici, vernici, trattamenti per l'acne, protesi e nel filo interdentale. Nel 2013, in Veneto, si è venuti a conoscenza del caso di contaminazione da PFAS delle acque di una tra le più

grandi falde acquifere d'Europa; si tratta di una vasta area compresa tra le province di Verona e Padova, ma che ha interessato più di tutte la provincia di Vicenza. Poco dopo il rilevamento di queste sostanze, si è individuato l'origine della loro provenienza nell'azienda Miteni, che dagli anni '60 del Novecento ha prodotto queste sostanze chimiche per circa cinquant'anni, rilasciandone una quantità spropositata nell'ambiente. Gli PFAS sono anche soprannominati "forever chemicals", proprio a sottolineare il fatto che essi subiscono processi di deterioramento e decomposizione lentissimi, quasi illimitati, e quindi tendono a persistere nell'ambiente, contaminando flora e fauna per periodi di enorme durata. Nonostante in diversi paesi il loro utilizzo sia stato vietato, in molti altri vengono ancora ampiamente utilizzati. Questo progetto di Tesi, in particolare, fa seguito al precedente studio pilota chiamato TEDDY-Child (Girardi et al., 2023), condotto a partire dal 2021, dal dipartimento dello Sviluppo e della Socializzazione dell'Università di Padova, che si è impegnato nello studio delle conseguenze sulle funzioni emotive e comportamentali di bambini che sono entrati a contatto con PFAS, a seguito del noto caso dell'industria di Trissino (VI), e su cui si è precedentemente basata anche la Tesi della Dott.ssa Lupo, che ha fornito un fondamentale contributo per la realizzazione del presente progetto. Successivamente alla scoperta di questa sostanza inquinante diffusa nell'ambiente, la ricerca scientifica a livello internazionale ha iniziato a studiare le possibili ripercussioni sulla salute dell'uomo. Benché i risultati degli studi finora emersi non siano ancora esaustivi e spesso non unanime tra loro, la letteratura supporta comunque l'ipotesi che queste abbiano delle ripercussioni sullo sviluppo cognitivo, in modo particolare quando la contaminazione avviene durante l'età evolutiva.

Nel Capitolo 1 (*Ambiente e Sviluppo*) di questo studio, viene inizialmente fornita una panoramica storica rispetto all'importanza che l'ambiente ha nello studio della psicologia dello sviluppo e sui principali fattori di rischio e di protezione al suo interno, in particolare fattori sociali e familiari. Queste ultime variabili sono state prese in considerazione per questa sperimentazione accanto a quella da inquinamento da PFAS, poiché anch'esse sono fortemente rilevanti e impattanti per lo sviluppo cognitivo del bambino. Come esposto nel modello ecologico dello sviluppo di Bronfenbrenner (1979), diversi sistemi più o meno a stretto contatto con il bambino interagiscono tra di loro, e l'esito influisce sulle traiettorie evolutive del bambino. Per esempio, le caratteristiche dell'ambiente possono agire sulle scelte, sui comportamenti e sulle modalità educative

dei genitori (Bradley, 2002), e questo influisce sulle loro interazioni con i figli, che possono essere quindi più o meno costruttive e “di qualità”, come anche l’appartenenza ad uno status socioeconomico più o meno alto, la qualità dei luoghi abitativi (Bradley, 2002; Nagahawatte & Goldenberg, 2008) o il benessere e la salute mentale dei genitori (Belsky, 1984). Quando un bambino è ben adattato all’ambiente, è anche in grado di operare un controllo su di esso; è stato dimostrato come queste abilità comportino nella vita adulta un maggiore successo in diverse aree, ad esempio nella sfera socio-relazionale e in quella lavorativa. Un modo per osservare la qualità dell’adattabilità del bambino al suo contesto è lo studio dei suoi meccanismi di autoregolazione, questi possono essere divisi in due componenti, uno cognitivo, costituito dalle funzioni esecutive, e uno emotivo, che prende il nome di regolazione emotiva. A tal proposito, nel Capitolo 2 (*Funzioni Esecutive e Regolazione Emotiva*), sono stati definiti questi due costrutti, e successivamente è stata spiegata la loro importanza in funzione dell’adattamento all’ambiente e alla società. È stato dimostrato che funzioni esecutive e regolazione emotiva agiscono sotto il controllo delle regioni orbitofrontali e dorsolaterali della corteccia prefrontale, oltre che essere connesse a modulazioni psico-fisiologiche controllate dal sistema nervoso autonomo, in particolare dal suo ramo parasimpatico. Il funzionamento di questi sistemi fisiologici, in particolare il tono cardiaco vagale, e la sua importante relazione con le funzioni autoregolative, è stato quindi descritto dettagliatamente nel Capitolo 3 (*Il Tono Cardiaco Vagale*). Una volta introdotto il background che riassume le principali scoperte riportate nella letteratura, atte a supportare e valutare lo studio e la sperimentazione, il Capitolo 4 (*La Ricerca*) mira ad esporre il progetto di ricerca vero e proprio, con i due principali obiettivi, ossia indagare se essere entrati a contatto con le sostanze perfluoroalchiliche (PFAS) abbia avuto delle conseguenze in primis sulle abilità esecutive dei bambini e in secondo luogo sul tono cardiaco vagale, inferito tramite la frequenza cardiaca. Lo studio, che ha avuto come soggetti gli alunni di sette classi di terza elementare nella provincia di Vicenza, ha previsto una fase di laboratorio, che aveva come tema la sensibilizzazione all’importanza della regolazione emotiva, e una seconda fase in cui sono stati somministrati alcuni test misuranti le funzioni esecutive, in particolare relative all’attenzione e al controllo inibitorio, e il tono cardiaco vagale. Sono state dunque esplicate le fasi relative al progetto, il metodo utilizzato e il tipo di analisi dei dati effettuate. Per concludere, nel Capitolo 5

(*Risultati*) sono stati esposti i risultati, sia riguardanti la descrizione del campione sia riguardante le correlazioni trovate tra le diverse variabili, che sono state infine discussi nel Capitolo 6 (*Discussione e Conclusioni*), al termine del quale sono stati esposti i limiti della ricerca e le prospettive future.

1 Ambiente e Sviluppo

1.1 Background storico

Fin dagli albori della psicologia dello sviluppo, il tema dell'ambiente e quello delle sue influenze sono stati al centro di numerose riflessioni degli studiosi; alla base di ciò sta l'idea che non è possibile definire e comprendere un essere umano senza tener conto del contesto sociale e fisico nel quale è inserito. Dal punto di vista relazionale, alla nascita, madre e bambino potrebbero essere concepiti come una sola entità, questo a rimarcare che non esiste un bambino senza una figura che si prenda cura di lui, e il concetto può essere allargato affermando che non esiste un bambino senza un contesto ambientale attorno a lui (Winnicott, 1965). Numerosi ricercatori nel corso dei decenni hanno studiato in che modo, oltre alla componente ereditata geneticamente dai genitori, anche quella dell'ambiente andasse a influire sui meccanismi di crescita e quali conseguenze portassero. Il susseguirsi di diverse teorizzazioni, ognuna delle quali ha fornito un "tassello" aggiuntivo alla concettualizzazione di ambiente di crescita, ha contribuito a quella che è la prospettiva odierna. Di seguito, viene esposto un rapido excursus storico al fine di presentare tutti i molteplici contributi, soffermandosi sulle teorie e sui modelli più rilevanti, che sono stati apportati nel corso degli anni.

Una prima fondamentale ricerca è quella sviluppata nel 1913 dallo psicologo statunitense Watson, padre del comportamentismo, il quale sviluppa l'idea che il comportamento umano sia l'esito di un condizionamento – classico o operante – avvenuto in relazione con l'ambiente. Nonostante questa teoria fosse una delle prime a dare la giusta rilevanza al contesto di crescita, trascurava tuttavia il contributo che il bambino può dare, nelle prime fasi evolutive, come agente attivo nei suoi processi di sviluppo mentale. A partire dagli anni '70, nasce con Bandura l'esigenza di superare questa visione e supportare invece un'ideologia che mettesse in evidenza il ruolo attivo del soggetto stesso. Egli riteneva infatti che il sistema cognitivo di ogni individuo ponesse in costante relazione l'ambiente circostante e l'output comportamentale. In particolare, con la sua teoria dell'apprendimento sociale, Bandura sottolinea l'importanza dell'osservazione del comportamento che il soggetto mette in atto nei confronti delle figure che per lui rappresentano un modello. Il soggetto dunque osserva la realtà, ne apprende i processi e

infine vi estraee regole. Questo concetto fu sviluppato anche dalla psicologia della Gestalt, dall'esordio nei medesimi anni delle teorie comportamentiste, i cui principali esponenti riprendevano le intuizioni di Kant, secondo cui la mente umana è munita di strutture innate che permettono all'individuo di percepire la realtà, di comprenderla e modificarla, rigettando l'idea che il sistema mentale sia come una tabula rasa al momento della nascita. Lewin (1935), uno dei più importanti sostenitori della psicologia della Gestalt, afferma che la quasi totalità degli aspetti del comportamento infantile, a partire dalle sue emozioni, alle attività che svolge, fino ad arrivare al suo modo di esprimersi, è in parte determinato dall'ambiente. Secondo l'autore, durante la crescita, il bambino impara a controllare l'ambiente circostante, anche se, in parte, rimarrà sempre in una certa misura dipendente da esso; in condizioni ambientali eccessivamente dure o severe il rischio per il soggetto può essere una chiusura in sé stesso, che può portare a sua volta ad isolamento fisico ed emotivo dalle altre persone. L'idea che l'individuo sia agente attivo si consolida sempre più nel tempo, ripresa ed approfondita anche da Piaget nel 1967. Influenzato delle idee gestaltiste, l'autore francese fa riferimento ad un processo in cui il bambino in una prima fase assimilerebbe il mondo esterno e lo incorporerebbe alle sue già esistenti strutture interne, e in un secondo momento adatterebbe queste interiorizzazioni alla realtà esterna. Egli spiega dettagliatamente questo descrivendo il processo di assimilazione dell'oggetto, in cui inizialmente qualsiasi oggetto dell'ambiente esterno è, per l'infante, da afferrare e osservare; successivamente quell'oggetto verrà spostato, maneggiato e utilizzato. Queste azioni diventano sempre più complesse, fino ad arrivare al punto da mettere in relazione i diversi oggetti assimilati; in questa fase finale, il bambino non si limita più ad attività prive di coscienza, ma si inserisce una fondamentale componente di intenzionalità nelle sue azioni. (Valenza & Turati, 2019; Vianello et al., 2015). Un ulteriore contributo rilevante nella storia della psicologia dello sviluppo è quello apportato nella prima metà del '900 da Vygotskij, che dell'ambiente inteso ampiamente analizza in particolare la componente del contesto sociale. L'autore definì il concetto di "zona di sviluppo prossimale", che nella vita quotidiana di ciascuno deve essere immaginata come una situazione favorevole che permette ad un individuo di svilupparsi e di apprendere; per uno sviluppo ottimale è dunque necessaria la presenza di risorse nell'ambiente di crescita (Vianello et al., 2015). Alla fine degli anni '70, la psicologia dello sviluppo venne marcatamente influenzata dal pensiero di Urie Bronfenbrenner, che concettualizzò il suo

modello ecologico dello sviluppo umano. Le sue teorie si basano sull'assunto che lo sviluppo sia il risultato di una serie di interazioni reciproche tra l'individuo e l'ambiente circostante con il quale interagisce (Vianello et.al., 2015). A livello grafico si può immaginare questo modello come composto da quattro strutture concentriche, una inclusa nell'altra, come una matrioska [Fig. 1.1].

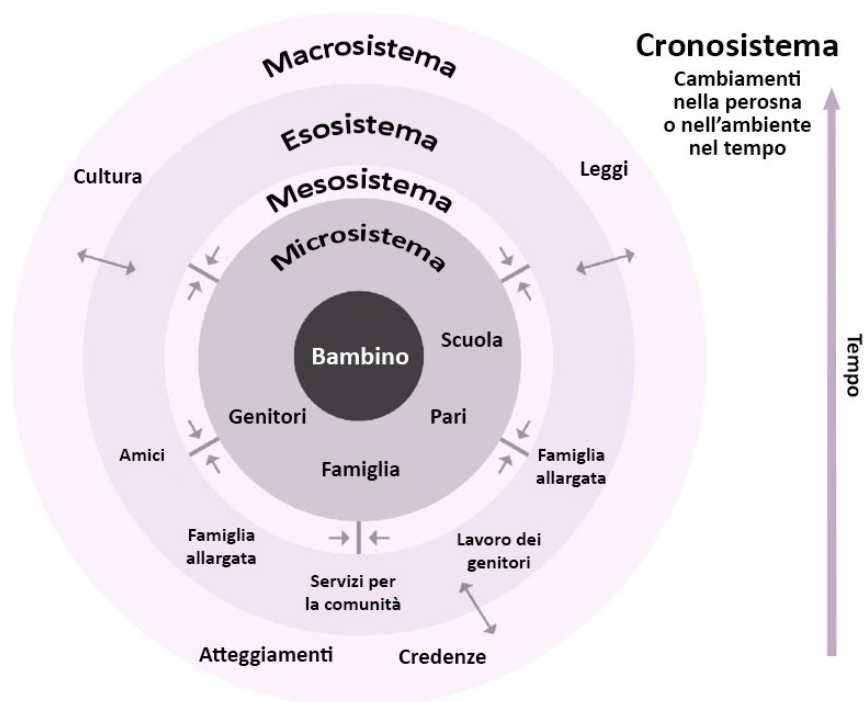


Figura 1.1 – Modello ecologico dello sviluppo umano

Nella posizione più interna del modello è posto il microsistema, che comprende le situazioni ambientali che influiscono sullo sviluppo del bambino in maniera immediata; le relazioni con persone che interagiscono faccia a faccia con il soggetto sono ad esempio la famiglia, il gruppo dei pari, la scuola e per gli adulti il luogo di lavoro. (Bronfenbrenner, 1979). Ad un livello più esterno è collocato il mesosistema, che si può definire come l'incontro di più microsistemi, ed è il caso della relazione presente tra la famiglia e la scuola, o tra famiglia e gruppo dei pari. Al terzo livello è posto l'esosistema, che similmente al mesosistema tratta del legame tra due diversi sistemi, con la differenza che, in questo caso, almeno un contesto tra i due in relazione non è direttamente a contatto con il bambino di cui si sta considerando la situazione; tuttavia, è in grado di influenzare comunque il suo ambiente di crescita e di conseguenza il suo sviluppo. Esempi di questo sottosistema sono il rapporto tra i genitori e il loro contesto lavorativo o, similmente, la

relazione tra i genitori e il tipo di lavoro che svolgono. All'ultimo livello si pone il macrosistema, che comprende dentro a sé tutti i precedenti. Fa riferimento in particolare alla cultura della società di appartenenza, al sistema di credenze, ai costumi, allo stile di vita, alle risorse presenti nel territorio o agli eventuali ai limiti che possono impedire uno sviluppo ottimale (Bronfenbrenner, 1994). Quello che è interessante notare è che quest'ultimo sistema subisce notevoli modifiche da una cultura all'altra. All'interno di ogni società, infatti, sono prestabiliti degli schemi organizzativi, dettati dalle usanze e dalle tradizioni tramandate di generazione in generazione, che danno un volto a quella determinata cultura. Non solo, ma all'interno di ogni società esiste per ogni tipo di situazione ambientale un certo schema a cui gli individui ricorrono per riuscire ad affrontarla. Oltre a contribuire alla creazione di questa identità grupale, gli individui si servono di questi schemi ogni qual volta debbano affrontare una certa circostanza. Nel momento in cui questi schemi prestabiliti vengono anche solo un minimo modificati, possono incidere notevolmente alterando le dinamiche del micro, meso ed esosistema; ad esempio, una modificazione della prassi nell'assistenza alla maternità, o una crisi finanziaria, può portare una famiglia ad una situazione di difficoltà economica e quindi inevitabilmente incidere nella traiettoria evolutiva del bambino (Bronfenbrenner, 1979). Il sistema culturale di riferimento può influenzare il ruolo stesso della funzione genitoriale: elementi come la flessibilità messa a disposizione dai luoghi di lavoro, la presenza di una rete amicale e un vicinato che mostra disponibilità nei momenti di necessità oltre che un quartiere abitativo sicuro sono degli esempi di fattori che possono agevolare le mansioni della funzione genitoriale o viceversa rappresentare un importante ostacolo (Bronfenbrenner, 1979). In una successiva rivisitazione, è stato aggiunto un ulteriore livello, denominato cronosistema, caratterizzato da tutte quelle influenze causate dal momento storico presente, come cambiamenti nella struttura familiare, nello status socioeconomico, dell'occupazione lavorativa o del luogo di residenza. Un concreto esempio storico che può aiutare a comprendere l'impatto di questo sistema è l'avvenimento statunitense della Grande Depressione degli anni 30 del '900. È stato dimostrato che gli adolescenti che all'epoca della crisi finanziaria facevano parte di una famiglia con difficoltà economiche, hanno raggiunto nella vita una maggiore soddisfazione personale e sociale. Questo probabilmente perché, con lo scopo di sostenere la famiglia, questi giovani adulti hanno dovuto assumere nuovi ruoli e questo

ha accresciuto il loro senso di responsabilità e di cooperazione, aumentando il loro senso di autoefficacia e il desiderio di raggiungere nella vita degli obiettivi prefissati (Bronfenbrenner, 1994; Gambini, 2007). Un ulteriore contributo nella concettualizzazione dell'importanza dell'ambiente per lo sviluppo è da attribuire a Belsky che, adottando una prospettiva ecologica, nel 1984, sviluppò il suo modello processuale delle determinanti della genitorialità [Fig. 1.2]. Secondo l'autore, la funzione di cura da parte dei caregiver viene influenzata da tre fattori: la loro personalità, le caratteristiche individuali del bambino e infine dalle risorse e dagli stimoli presenti nel contesto ambientale. Secondo questo approccio, la storia individuale di madri e padri, la relazione con l'altro partner, la rete sociale e il tipo di esperienze lavorative influenzerebbero la personalità individuale dei genitori, il loro generale benessere psicologico e, di conseguenza, le loro capacità di caregiving nei confronti dei figli e la conseguente qualità del loro sviluppo. Il sostegno sociale, in particolare, fungerebbe da fattore protettivo anche sul livello di coesione ed intimità tra due partner, in quanto è stato dimostrato che qualora l'identità di coppia non fosse riconosciuta da persone vicine, è molto probabile che questo incida negativamente sul rapporto (Belsky, 1984; Simonelli, 2014; Venuti et al., 2018). Infine, con l'avvento dell'approccio neurocostruttivista e i suoi nuovi apporti alla ricerca, si rafforza ulteriormente l'idea che, assieme alla componente individuale genetica del bambino, l'ambiente sia fondamentale come fattore che può influenzare l'esito evolutivo.

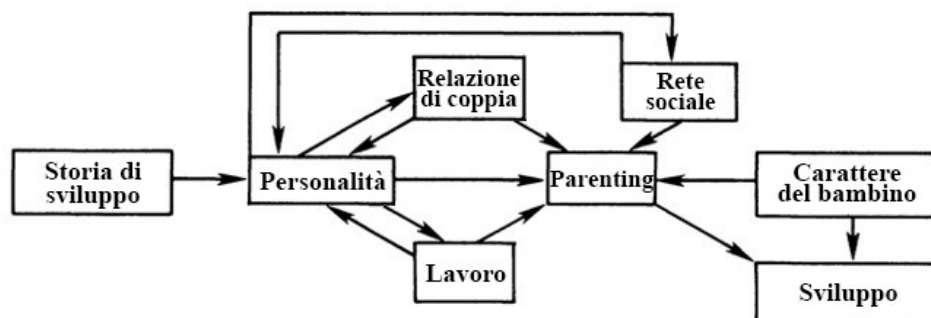


Figura 1.2 – Modello processuale delle determinanti della genitorialità.

Diventa centrale lo studio del processo ontogenetico, secondo cui accanto al contributo dalla componente genetica, il bambino creerebbe il suo sistema di conoscenze e di strutture cognitive grazie ad un processo attivo, costruttivo e interattivo con l'ambiente (Valenza & Turati, 2019). La tesi appena esposta è stata dimostrata dalla ricercatrice

anglosassone Karmiloff-Smith, una delle principali esponenti del neurocostruttivismo, che nel 1998 pone l'attenzione sul fatto che il solo contributo genetico non è sufficiente a spiegare gli esiti dello sviluppo. Prende il nome di epigenetica probabilistica la visione secondo cui il bambino non avrebbe un percorso evolutivo predeterminato in maniera innata, ma l'ambiente rappresenta un ruolo essenziale nel modificare questo percorso, cosicché la crescita di ogni individuo possa essere caratterizzata da unicità e soprattutto da non prevedibilità. L'interazione tra la componente genetica e quella ambientale produrrebbe una serie di effetti a cascata, che direzionerebbero il percorso epigenetico. L'azione dei vincoli – predisposizioni che guidano e facilitano lo sviluppo cerebrale e cognitivo, incanalandolo verso traiettorie evolutive osservabili nello sviluppo tipico (Valenza & Turati, 2019) – acquisisce importanza nel momento in cui il soggetto interagisce con il contesto ambientale. Sul piano individuale, alcuni dei vincoli che influenzano questo esito riguardano in parte vincoli imputabili all'aspetto cerebrale, come i processi di sinaptogenesi e il pruning sinaptico, le diverse soglie di attivazione neuronale e la quantità e la variazione di neurotrasmettitori. D'altra parte, assumono un ruolo determinante il timing individuale di maturazione dei due emisferi cerebrali o il timing nella densità sinaptica rispetto alle connessioni tra diversi neuroni o aree cerebrali (Karmiloff-Smith, 1998). Un'ulteriore attenzione va posta ai periodi critici e sensibili: finestre temporali in cui i circuiti neuronali sono particolarmente sensibili al tipo di esperienza che si sta vivendo. I primi, che si verificano in concomitanza con i periodi di massima sinaptogenesi cerebrale, si differenziano dai secondi in quanto alla chiusura del periodo critico, i circuiti che si sono sviluppati fino a quel momento sono difficili da modificare in futuro; quando invece le rappresentazioni mentali possono essere modificate anche in età adulta, si parla di periodi sensibili. L'esperienza precoce è particolarmente impattante perché i periodi critici avvengono prevalentemente nelle prime fasi dello sviluppo. In questi momenti, la deprivazione sensoriale, come ad esempio un ambiente ipostimolante, o la deprivazione tattile e affettiva, come nel caso di bambini con madri depresse, rappresentano un fattore di rischio per i principali processi di crescita del bambino. Per concludere, si può riassumere il contributo neurocostruttivista come un punto di arrivo, nell'ambito della storia della psicologia dello sviluppo, in quanto dimostra anche a livello neuronale come l'individuo sia di fatto un attivo costruttore delle sue strutture psichiche, che interagisce con il mondo esterno trasformandolo e

interiorizzandolo. Questo a conferma delle intuizioni secondo cui quanto più l'ambiente di crescita è facilitante per lo sviluppo, ricco di stimoli e ad accezione positiva, tanto più questi fungeranno da fattori protettivi (Valenza & Turati, 2019).

1.2 I fattori di rischio

Numerosi sono stati gli studi hanno tentato di indagare in particolare quali siano i principali fattori di rischio che, se presenti nell'ambiente, possono influenzare negativamente sull'esito di sviluppo. In primo luogo, l'ambiente agisce inevitabilmente sui comportamenti, sulle scelte e sulle modalità educative dei genitori (Bradley, 2002). La famiglia di un bambino, composta da adulti che svolgono una funzione di cura nei suoi confronti, è inserita all'interno di un sistema integrato più ampio, come esposto precedentemente. Il modello ecologico di Bronfenbrenner (1979) e il modello processuale delle determinanti della genitorialità di Belsky (1984) mettono in evidenza come la cultura di appartenenza, le norme sociali, la qualità dei servizi e delle istituzioni, la rete sociale e le esperienze scolastiche e lavorative sono tutti fattori che possono influenzare il funzionamento familiare, in particolar modo le scelte educative dei genitori o le modalità con cui essi scelgono di organizzare le attività dei propri figli. Al fine di approfondire la relazione presente tra genitorialità e cultura di appartenenza, sono stati elaborati due modelli, quello di nicchia ecoculturale di Weisner e Gallimore e quello di nicchia evolutiva di Super e Harkness (Harkness, & Super, 2002). Il primo, sviluppato dai due studiosi statunitensi e dai loro colleghi, ha come focus il sistema famiglia e i meccanismi che questo mette in atto per adattarsi all'ambiente. Dai loro studi emerge come la famiglia non si limiti di fatto a replicare i modelli trasmessi culturalmente, bensì metta in atto dei processi attivi nella costruzione di propri modelli. Secondo gli autori, per poter cogliere tutti gli aspetti dell'organizzazione familiare e per riuscire a sostenerla, è necessario comprendere come le routine quotidiane sono influenzate dalla società più ampia (Gallimore et al., 1989; Weisner & Garnier, 1992; Weisner et al., 1996, citati in Harkness, & Super, 2002, p. 272). Differentemente, nella nicchia evolutiva elaborata da Super e Harkness il focus passa dalla famiglia al contesto ambientale, e su come questo modelli la vita quotidiana del bambino e il suo microsistema. In particolare, la nicchia evolutiva si articola in tre componenti: le caratteristiche fisiche e sociali della vita del bambino, le abitudini e le pratiche educative, che sono mediate dal sistema culturale, e il

benessere psicologico dei genitori. Questi tre fattori hanno la funzione di mediare tra l'esperienza di crescita del bambino e il sistema culturale più ampio all'interno del quale è inserito (Harkness & Super, 2002). Riprendendo il modello di Belsky (1984), è possibile osservare che l'autore identifica come due dei principali fattori che influenzerebbero le competenze genitoriali la storia di sviluppo del genitore e la sua personalità. La prima ha un ruolo essenziale in quanto consente all'individuo di crearsi delle aspettative sul ruolo da svolgere in quanto genitore e su come farlo nel modo migliore per il figlio. La seconda invece influirebbe sulla sua capacità di entrare in empatia con il proprio bambino, di assumere il suo punto di vista, di approcciarsi a lui con un atteggiamento attento e supportivo. La ricerca dimostra come questi comportamenti vengano messi in atto in maggior misura da figure genitoriali che godono di una buona salute mentale; la presenza di alcuni quadri psicopatologici, come la depressione, condurrebbe a comportamenti genitoriali meno efficaci, come una maggiore difficoltà a cogliere gli stati affettivi del proprio figlio e saper rispondervi prontamente. Oltre alla componente psicologica, è stato dimostrato che altri fattori possono spiegare alcune difficoltà che si possono riscontrare nel ruolo di genitore, quali l'appartenenza a minoranze etniche, un'istruzione inferiore alla scuola superiore e la giovane età, soprattutto della madre (Nagahawatte, & Goldenberg, 2008). Al diventare genitori ad una età matura conseguono scambi più funzionali con il bambino; viceversa, assumere questo ruolo e queste responsabilità precocemente comporterebbe notevoli difficoltà nelle pratiche di accudimento (Bradley, 2002; Venuti et al., 2018).

Riprendendo il fattore di rischio legato dalla depressione genitoriale, è utile notare come questo si associ spesso all'appartenenza ad un basso status socioeconomico, a cui conseguono eventuali difficoltà finanziarie e una serie di privazioni. È il caso di famiglie che vivono in un ambiente stressante, anche dal punto di vista urbano, e con una minor accessibilità a servizi e a risorse; questo inevitabilmente può portare ad un'insoddisfazione abitativa e a delle ripercussioni sullo sviluppo del bambino (Bradley, 2002; Nagahawatte & Goldenberg, 2008). È stato dimostrato che in queste situazioni di povertà il rischio di depressione è maggiore in madri single piuttosto che in madri sposate. Alti livelli di stress psicologico o sociale vissuti dalla genitrice, conseguenti per esempio ad instabilità abitativa e disagio materiale, rappresenta un fattore di rischio anche per il parto pretermine, che a sua volta espone il neonato ad esperienze ambientali e

sociorelazionali atipiche rispetto ai bambini nati a termine. La maturazione del sistema nervoso dei neonati prematuri non è ancora volta al termine al momento della nascita, e l'esposizione all'ambiente artificiale della terapia intensiva comporta da una parte una iperstimolazione (data dalla presenza di luci, rumori e procedure mediche invasive) e d'altra parte a un'ipostimolazione, data dalla mancanza del contenimento in grembo, che invece permetterebbe al feto di percepire del battito cardiaco della madre, di muoversi (cosa che non accade in incubatrice o in termoculla) e udire i suoni provenienti dall'esterno filtrati dalla parete uterina (Valenza & Turati, 2019). Il parto pretermine può causare nel bambino traiettorie atipiche nello sviluppo cognitivo, del linguaggio e in quello relazionale. In particolare, si possono verificare difficoltà nella sincronizzazione interattiva figlio-madre, date dalla difficoltà da parte del bambino prematuro ad orientare e mantenere lo sguardo sul volto materno. Questi sono bambini che mostrano meno espressioni facciali e comportamenti meno appariscenti, e in generale livelli di reattività inferiore rispetto ai bambini nati a termine. Le madri tendono a considerarli più vulnerabili, e in generale la situazione, a sua volta, può causare nella madre stress, ansia e depressione, dal momento che tendono a colpevolizzarsi per non aver portato a termine la gravidanza (Bozzette, 2007; Valenza & Turati, 2019).

Sostenendo il modello ecologico dello sviluppo, autori come Sameroff (1999) e Garbarino (1982) hanno individuato negli aspetti fisici, sociali e culturali di contesti ambientali, quali la famiglia, la scuola o il quartiere abitativo, importanti fattori di influenza, che possono agire sia direttamente che indirettamente sullo sviluppo; ogni influenza viene anche vissuta in maniera differente da persona a persona, in base alle proprie risorse e al proprio temperamento; questo spiegherebbe perché due fratelli, cresciuti con gli stessi genitori e nello stesso ambiente, percepiscano in maniera differente le esperienze di vita. Il quartiere, per esempio, è il luogo che il bambino esplora maggiormente, e quello dove avvengono le sue principali interazioni sociali, soprattutto nei primi anni di vita; le caratteristiche, le risorse e le opportunità sociali che offre sono da considerarsi facilitanti per il suo sviluppo, o viceversa gli ostacoli possono rappresentare un limite oltre che influire sulle strategie e sui metodi educativi messi in atto dai genitori (Garbarino, 1982; Furstenberg et al., 1999; citati in O'Neil, Parke, & McDowell, 2001). All'opposto, un quartiere adeguato rappresenta un fattore di protezione, in quanto conferirebbe prevedibilità dell'ambiente circostante, rappresentando

in questo modo un prerequisito per la sicurezza del bambino. Fare parte di una famiglia dal basso status socioeconomico può rappresentare un fattore di rischio per lo sviluppo socio-emotivo e cognitivo, in quanto può portare all'esposizione di un ambiente caratterizzato da maggiore violenza, disregolazione e separazione familiare, criminalità all'interno del proprio quartiere, e con la maggiore probabilità di un contatto con coetanei aggressivi e devianti (Evans, 2004). Banalmente, in queste famiglie, la stimolazione cognitiva risulta inferiore rispetto ai bambini in famiglie di status economico più alto, e i loro genitori sono meno coinvolti in attività di tipo letterario e linguistico con i loro figli, che favorirebbero il loro sviluppo cognitivo, come leggere assieme o frequentare la biblioteca. In uno studio, Evans, Maxwell e Hart (1999) si sono concentrati sulle condizioni di famiglie che vivono in case affollate, e ciò che è emerso è che questi genitori parlavano ai figli con frasi articolate in maniera meno complessa, inoltre risultavano meno reattivi verbalmente rispetto a caregiver in famiglie meno affollate (Bradley, 2002). Essere esposti ad un ambiente che stimola in minore misura l'alfabetizzazione ed enfatizza invece passatempi come passare molto tempo a guardare la televisione influisce sullo sviluppo cognitivo, e in alcuni casi è stata riscontrata una relazione con i disturbi della condotta (Coley, 2002; Larson & Verma, 1999; citati in Evans, 2004). Il livello di status socioeconomico risulta predittore anche di un diverso rapporto tra i genitori e la scuola: i genitori appartenenti ad una fascia inferiore, per esempio, sono meno coinvolti nelle esperienze scolastiche del figlio, meno attenti ai compiti da svolgere per casa e meno partecipi nel confronto con gli insegnanti. Madri appartenenti ad una condizione socioeconomica migliore, in caso di difficoltà scolastiche del figlio, sono più probabilmente a conoscenza dell'origine di tale problema. Perdi più, l'appartenenza a famiglie più abbienti mostra una correlazione anche con il rendimento scolastico del figlio: secondo uno studio agli inizi degli anni '80, negli Stati Uniti i bambini di alto status socioeconomico con più probabilità avrebbero proseguito i loro studi dopo la scuola superiore, sarebbero entrati all'università e avrebbero conseguito una laurea e una formazione professionale (Baker & Stevenson, 1986; Evans, 2004). È stato osservato inoltre come appartenere ad una classe sociale più alta comporta uno stile parentale meno imperativo e rigido e più volto all'ascolto e ad una conversazione aperta con il proprio figlio (Hart and Risley, 1995). Altri studi hanno dimostrato l'esistenza di una relazione tra il reddito familiare e la qualità coniugale. Molto spesso gli uomini, nei confronti delle

partner (e molto meno spesso il contrario), presentano atteggiamenti caratterizzati da maggiore conflittualità e poco sostegno qualora sperimentino pressioni sul luogo lavorativo (Conger & Elder, 1994; Lewis & Spanier, 1979; citati in Evans, 2004). La componente del reddito familiare, comunque, non è la sola ad influire su delle buone prestazioni scolastiche; esse infatti sono influenzate dalla presenza, nell'ambiente e nella comunità, di risorse a cui i genitori possano accedere, come biblioteche, musei, programmi di alfabetizzazione e altri servizi; anche la presenza di attività sociali e ricreative nel territorio, come parchi, programmi sportivi, artistici e teatrali, centri comunitari e gruppi organizzati per bambini e giovani promuovono il benessere fisico e socioemotivo del bambino e della sua famiglia (Leventhal & Brooks-Gunn, 2000).

L'illustrazione di questi fattori di rischio ha mantenuto il focus verso il nucleo familiare e le relazioni tra i suoi membri, evidenziando l'importante influenza svolta dai contesti ambientali e socioculturali. Nel prossimo paragrafo l'attenzione verterà invece su un altro aspetto analogamente rilevante nel percorso di crescita. Se da una parte il bambino è inserito in un contesto sociale e relazionale con cui interagisce, dall'altra parte è presente una componente fisica del contesto di crescita. Nel dettaglio, lo studio proposto da questo progetto di tesi ha come particolare oggetto di interesse la ricerca degli effetti dell'inquinamento ambientale sullo sviluppo del bambino. Anche senza entrare in diretto contatto con determinati agenti inquinanti, ma semplicemente respirando e ingerendo cibo e acqua contaminati si è esposti, specie in questo particolare momento storico, a sostanze inquinanti che possono avere degli effetti importanti sullo sviluppo e sul benessere (Schell et al., 2006).

1.3 Inquinamento ambientale e PFAS

I cambiamenti climatici a cui si sta assistendo negli ultimi decenni sono responsabili di gravi alterazioni che influenzeranno sempre in maggior misura il benessere e la salute degli esseri umani. A questo, si aggiunga l'inquinamento ambientale, dovuto a tutti i rifiuti, come i combustibili fossili, che vengono utilizzati per le produzioni di elettricità, riscaldamento o trasporti e successivamente emessi nell'ambiente dalle industrie; questo rappresenta un fattore di rischio particolarmente rilevante per lo sviluppo evolutivo (Perera, 2017; Xu et al. 2012). Nelle fasce dell'età di sviluppo questo rischio è ancora più critico, dal momento che i bambini presentano una maggiore vulnerabilità, rispetto agli

adulti, all'esposizione ad agenti inquinanti tossici. Questo è dovuto ai tempi di sviluppo e di maturazione cerebrale: la maggior parte dei neuroni si forma nel periodo prenatale, continuando poi la sua evoluzione fino ai sei anni circa di età, motivo per cui questo periodo è estremamente sensibile per l'esito evolutivo in prospettiva dell'età adulta. In questi primi anni, i bambini richiedono da tre a quattro volte la quantità di cibo in base al loro peso corporeo rispetto agli adulti; nel caso in cui, dunque, le sostanze inquinanti fossero rincontrabili nel cibo, i bambini vi risulterebbero esposti in misura importante. Il periodo fetale e quello della prima infanzia rappresentano dunque un periodo sensibile sia al danno genetico sia alla disregolazione epigenetica dovuta all'esposizione di xenobiotici, ossia sostanze estranee al normale metabolismo di un organismo (Dolinoy et al. 2007; Perera et al. 2004, citati in Perera, 2017). Alcuni tipi di ritardo nella crescita durante il periodo prenatale sono associati a diverse influenze ambientali, che aumentano il rischio di problematiche allo sviluppo neurologico e respiratorio, a malattie cardiache o a diabete in età adulta. Diverse prove empiriche dimostrano che l'esposizione all'inquinamento nella prima infanzia influisce, oltre che alla sua salute, anche sulle prestazioni scolastiche del bambino e sui punteggi dei test; a sua volta, un QI ridotto all'età di cinque anni è associato nella vita adulta, ad un reddito significativamente inferiore. Secondo alcuni studi, diversi disturbi del neurosviluppo, tra cui quello da deficit di attenzione ed iperattività, sembrerebbero essere associati in parte all'esposizione in tenera età questo tipo di sostanze xenobiotiche (Perera, 2017).

Sebbene si sia trattato fino a questo punto solamente dell'inquinamento ambientale di tipo atmosferico, è cruciale esaminare un fenomeno giunto all'attenzione della comunità scientifica solo nell'ultimo decennio, ossia la crescente presenza di agenti inquinanti nelle acque potabili che quotidianamente vengono utilizzate e consumate dai cittadini. Si tratta, in particolare modo, delle sostanze perfluoroalchiliche e polifluoroalchiliche, più comunemente denominate PFAS. Questi prodotti chimici, tutt'ora utilizzati nella produzione e ampiamente distribuiti nel mercato, sono caratterizzati da proprietà idrofobe e lipofobiche e per questo, a partire dagli anni '50, sono stati utilizzati per un'ampia gamma di prodotti che necessitano di queste caratteristiche, come pentole antiaderenti, insetticidi, rivestimenti protettivi per vestiti e prodotti idrorepellenti. Tra queste sostanze, alcune tra quelle maggiormente al centro dell'interesse dai ricercatori sono il perfluorotanoato di ammonio (APFO), l'acido

perfluorooctanoico (PFOA) e fluoruro di perfluorottanesulfonile (PFOS) (Buck et al., 2011; Ingelido et al., 2018; Girardi & Merler, 2019). Nella fase di produzione, utilizzo e infine smaltimento di questi prodotti, le sostanze chimiche vengono emesse sia direttamente che indirettamente nell'ambiente, ed essendo queste non biodegradabili, rimangono intatte e ampiamente distribuite nel territorio, entrando a contatto con la fauna selvatica e con l'uomo (Buck et al., 2011; Girardi & Merler, 2019; Pitter et al., 2020). L'esposizione avviene attraverso l'aria, la polvere (anche se in forma minore) e principalmente dall'assunzione di cibo e acqua potabile contaminata. Gli PFAS sono stati utilizzati in maniera ampia e diffusa negli ultimi decenni, ma la preoccupazione che queste sostanze, a cui l'essere umano è esposto, potessero avere delle conseguenze negative sulla salute è stata attenzionata solo negli ultimi anni (Domingo, & Nadal, 2019; Pitter et al., 2020). Analisi eseguite su soggetti contaminati, hanno rilevato la presenza di PFAS principalmente nel siero umano, nel sangue cordonale e nel latte materno. Tendono a bioaccumularsi e dunque a persistere nel corpo, venendo poi espulsi principalmente attraverso l'urina; nelle donne, inoltre, altre vie di eliminazione note sono la perdita di sangue durante le mestruazioni, la gravidanza, il parto e l'allattamento. Ciò che in questo caso rappresenta per le madri una modalità di espulsione delle sostanze chimiche, rappresenta invece una modalità di assunzione per il bambino, in quanto gli PFAS passano dall'una all'altro attraverso l'utero e il latte materno. L'allattamento al seno, che in condizioni non avverse rappresenta una modalità di accudimento fortemente consigliata alle madri per una crescita ottimale del figlio, in questi casi rappresenta un'importante fonte di contaminazione da PFAS nella prima infanzia. (Girardi et al., 2022; Pérez et al., 2013; Pitter et al., 2020). Altri predittori della concentrazione sierica nel sangue di PFAS sono l'attuale comune di residenza dei soggetti che vi sono stati esposti in passato e la durata della permanenza nella zona inquinata; come precedentemente esposto, è inoltre possibile che i bambini facciano inavvertitamente più consumo di PFOA a causa della maggiore assunzione di acqua giornaliera rispetto agli adulti (Ingelido et al. 2018; Pitter et al., 2020). Uno dei rischi conseguenti all'esposizione di PFAS in finestre temporali precoci è che questa può causare l'insorgenza di alcune conseguenze allo sviluppo neurologico durante i periodi sensibili. Questa teoria ha preso forma a seguito di diversi studi che sono stati svolti in laboratorio con cavie animali, in particolare con topi. Alcune di queste ricerche (Butenhoff et al. 2009; Johansson et al.

2008, 2009; citati in Fei & Olsen, 2011) hanno dimostrato che l'esposizione prenatale o neonatale ad alcune sostanze, in particolare PFOA o PFOS, correla positivamente con dei ritardi nella maturazione neuromotoria e con la presenza di alcune anomalie comportamentali, che sembrerebbero persistere anche nell'età adulta. È stato ipotizzato che queste sostanze agiscano attraverso meccanismi colinergici o dopaminergici e che causino di conseguenza sia una risposta alterata alla nicotina e una espressione scarsamente regolata del fenotipo acetilcolina/dopamina. Essendo queste alterazioni al sistema colinergico una possibile causa fisiologica dell'insorgenza del disturbo da deficit di attenzione/iperattività, si è reso necessario indagare le possibili conseguenze che gli PFAS possono avere sull'insorgenza di disturbi del neurosviluppo nell'essere umano, in particolare sull'appena citato ADHD. Gump e colleghi (2011) e Høyer e colleghi (2015) hanno per esempio trovato un'associazione tra esposizione a sostanze perfluorurate e deficit di inibizione comportamentale, ossia iperattività, nei bambini. Tuttavia, non tutte le ricerche hanno mostrato gli stessi risultati (Liew et al., 2015; Lyall et al., 2018; Ode et al., 2014), rendendo necessari ulteriori studi e valutazioni più approfondite per indagare l'associazione tra inquinamento da PFAS e deficit da attenzione ed iperattività (Stein & Savitz, 2011) e più in generale con altri disturbi del neurosviluppo.

In ogni caso, queste sostanze non espongono la popolazione che non è stata esposta direttamente alle sostanze chimiche a gravi ripercussioni sulla salute, come invece è accaduto ai lavoratori delle industrie a stretto contatto con gli agenti, che sono stati assorbiti per inalazione e per contatto cutaneo, e hanno portato a livelli marcati e persistenti di PFAS nel loro sangue. In questi casi, alcuni degli effetti nocivi individuati sono malattie come la colite ulcerosa, l'ipertensione indotta dalla gravidanza, l'ipercolesterolemia e malattie al fegato, infine possibili relazioni con alcuni tipi di cancro, in particolare quello ai reni o ai testicoli (Girardi et al., 2022). Per studiare gli effetti avversi delle sostanze perfluoroalchiliche nei diversi paesi sono stati svolti studi soprattutto nelle aree maggiormente contaminate. Uno degli episodi più indagati sulla contaminazione da PFAS è quello verificatosi nella Mid-Ohio Valley negli Stati Uniti, dove l'impianto chimico DuPont ha rilasciato PFAS inquinando l'acqua di sei distretti idrici di due stati, esponendo più di 70.000 persone agli agenti inquinanti. La concentrazione media di PFOA nel sistema di distribuzione di acqua di Little Hocking (Ohio) era di 3,55 ng/ml (con un range compreso tra 1,5 e 7,2 ng/ml), mentre la

concentrazione nei pozzi privati di cui si servivano le persone di questo studio variava da <0,01 ng/ml a 14,0 ng/ml. In Europa, si ricorda il caso in Germania, nello stato federale della Renania Settentrionale-Vestfalia, dove la contaminazione ha coinvolto 40.000 abitanti e quello a Ronneby, in Svezia, dove sono state colpite un terzo delle famiglie della cittadina – circa 28.000 cittadini (Domingo, & Nadal, 2019; Pitter et al., 2020).

In Italia, a seguito di uno studio volto a monitorare la presenza di PFAS nei fiumi, emerse che le concentrazioni di PFAS più ampie furono riscontrate nel fiume Po. Tuttavia, la più rilevante contaminazione idrica, che ha interessato sia acquedotti che pozzi privati, è stata individuata nel 2013 in un'area di 190 km² della regione del Veneto. La superficie interessata, che comprende diversi comuni delle province di Vicenza, Verona e Padova, è stata suddivisa in diverse aree [Fig. 1.3].

Quella maggiormente contaminata è stata denominata Zona Rossa. Come è possibile osservare nell'immagine, la zona di interesse si divide in “Zona Rossa A”, che comprende i comuni serviti dall'acquedotto inquinato situati sul plume di contaminazione delle acque sotterranee, mentre la seconda, denominata “Zona Rossa B”, è servita anch'essa dall'acquedotto ma è non situata sul plume della falda acquifera inquinata. Si stima che le persone esposte agli agenti chimici attraverso l'acquedotto pubblico siano state circa 140.000, rappresentando questo uno dei casi con esposizione a PFAS che ha coinvolto il maggior numero di cittadini residenti tra quelli verificatisi (Domingo, & Nadal, 2019; Ingelido et al. 2018; Pitter et al., 2020). L'unica fonte possibile che è stata individuata all'origine di questa contaminazione, che ha per l'appunto coinvolto una delle falde acquifere più grandi d'Europa, era situata nel comune di Trissino, in provincia di Vicenza, e si tratta dello stabilimento Rimar-Miteni che dagli anni '60 produceva queste sostanze chimiche, che venivano distribuite sul mercato al termine dei processi lavorativi come prodotti intermedi o finali. Si stima che dall'anno 2001 all'anno 2014, l'impianto di Trissino abbia prodotto in media circa 250 tonnellate di PFOA all'anno. (Girardi & Merler, 2017; Girardi & Merler 2019; Pitter et al., 2020). I residenti dei comuni all'interno della Zona Rossa sono quindi stati esposti per lungo tempo ad acqua contaminata, che ha causato alti livelli sierici di PFAS.

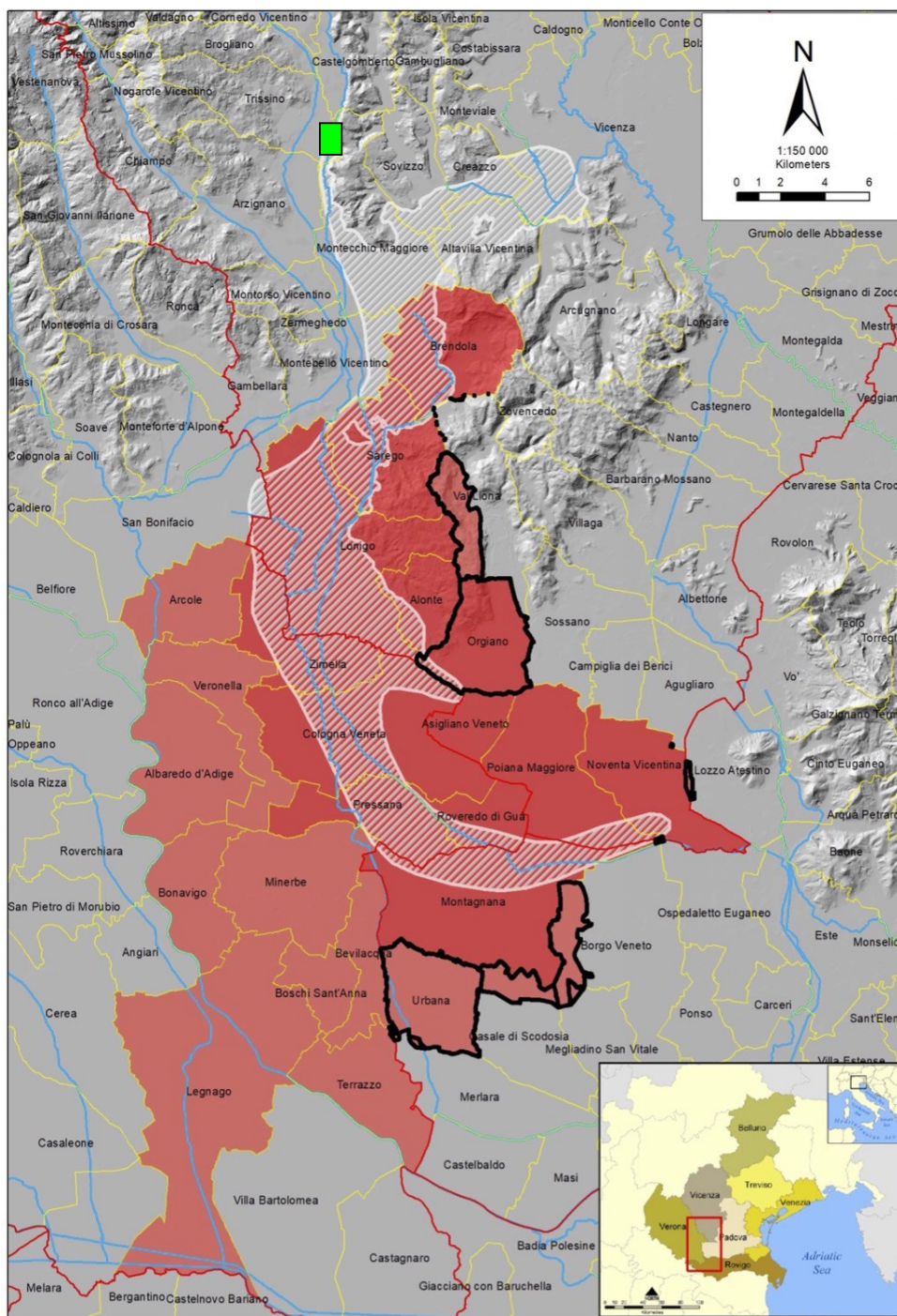


Figura 1.3 – Mappa dell’area contaminata nella Regione Veneto

Area rossa: comuni riforniti dagli acquedotti contaminati da PFAS
Area rosso scuro: Zona Rossa A, composta dai comuni nel plume di contaminazione delle acque sotterranee.
Area rosso chiaro: Zona Rossa B, composta dai comuni al di fuori dal plume di interesse.
Area bianca tratteggiata: plume di contaminazione delle falde acquifere.
Punto verde: posizione dell’impianto chimico di Trissino da dove ha avuto origine la contaminazione.

Oggi gli impianti di depurazione delle acque sono stati dotati dalle autorità locali di filtri a carbone attivo granulare che hanno portato ad una diminuzione degli PFAS nell'acqua potabile. In ogni caso, in un certo numero di paesi la produzione di PFAS, in particolare di PFOS e PFOA è già vietata, si potrebbe supporre dunque che nel tempo sia possibile una generale diminuzione di tale sostanza a livello internazionale (Domingo & Nadal, 2019; Girardi et al., 2022; Pitter et al., 2020).

Oltre all'esposizione fisica della contaminazione da PFAS, la popolazione ha assistito ad un lungo periodo caratterizzato da una generale incertezza su quanto stesse accadendo precisamente nel territorio, causando stati di ansia e di stress nelle persone che ignoravano o non comprendevano appieno le conseguenze di questo avvenimento. In particolar modo, nelle madri lo stress aumentava quanto più maggiore era la preoccupazione di aver esposto i propri figli alla contaminazione. È stato studiato che, tra le madri, quelle disoccupate o casalinghe avevano una percezione del rischio maggiore rispetto alle madri con un impiego a tempo pieno; inoltre, la presenza di una rete sociale, che solitamente rappresenta un fattore di protezione, in questa situazione potrebbe aver contribuito ad amplificare la preoccupazione per la salute, in particolare quella dei propri figli. Il pericolo percepito dai cittadini era legato alla chiarezza delle informazioni che venivano loro date dalle istituzioni e dai media. I soggetti con maggiore fiducia nelle informazioni scientifiche avevano anche una maggiore percezione del rischio conseguente all'assunzione di PFAS; viceversa avere fiducia nelle istituzioni politiche e nelle misure di prevenzione adottate ha comportato una riduzione del rischio percepito (Girardi et al., 2022).

2 Funzioni Esecutive e Regolazione Emotiva

2.1 Le Funzioni Esecutive

Volgendo lo sguardo al percorso evolutivo dell'essere umano nel corso della storia, è possibile notare la sua sorprendente capacità di riuscire ad adattarsi all'ambiente circostante, e la sua tendenza, dato un determinato stimolo, a rispondervi nel modo più adeguato (Logue & Gould; 2014). Per fare questo, risulta necessario essere in grado di regolare le proprie risposte istintive e il proprio comportamento, mettendo in atto tutta una serie di abilità, che in ambito scientifico prendono il nome di “funzioni esecutive”. Nello specifico, si tratta di processi cognitivi complessi, che vengono definiti anche “di ordine superiore”, che includono il controllo degli impulsi, l'inibizione di risposte istintive, l'attenzione, la memoria di lavoro, la pianificazione di azioni, il giudizio e i processi decisionali (Baddeley, 1998; Robbins, 1996; Stuss & Alexander, 2000; citati in Logue & Gould, 2014).

La definizione di “funzioni esecutive” è stata utilizzata per la prima volta nel 1983 dalla ricercatrice statunitense Muriel Lezak, che fece riferimento a delle capacità che consentono ad un individuo di essere indipendente, autoefficace e produttivo nella sua vita. Secondo l'autrice, la presenza di deficit in queste funzioni si rifletterebbero, nel corso tempo, in una scarsa cura di sé, nell'impossibilità di svolgere dei lavori redditizi e in un'incapacità di mantenere relazioni sociali di qualità. Nonostante ciò, il modello ad oggi più accreditato nella concettualizzazione delle funzioni esecutive è quello di Miyake e Friedman (2000), i quali individuano tre principali abilità che potessero riassumere in sé tutte le altre: la prima è la memoria di lavoro, utile per favorire un continuo monitoraggio cognitivo e per la rapida cancellazione o aggiunta di nuovi contenuti e stimoli presenti nel taccuino fonologico e visuo-spaziale; la seconda fa riferimento all'inibizione, vale a dire la capacità di impedire l'emergere di una risposta comportamentale impulsiva e non desiderata; infine la flessibilità, ossia l'abilità di passare da un compito o da uno stato mentale ad un altro senza eccessive difficoltà. Sebbene, come appena esposto, il concetto di funzioni esecutive sia stato definito negli

ultimi decenni del '900, il dibattito che ha portato i ricercatori ad interrogarsi sulla presenza di processi cerebrali responsabili di meccanismi di controllo risale a più di un secolo prima. Un evento emblematico risale infatti al 1840 e ha coinvolto lo statunitense Phineas Gage, un operaio addetto alla costruzione di ferrovie, che sopravvisse ad un grave incidente, in cui un palo di ferro trapassò il suo cranio, e andò a danneggiare nello specifico il lobo frontale [Fig. 2.1]; a seguito di questa vicenda, Gage mostrò un repentino cambiamento del comportamento, che appariva particolarmente disinibito, iperattivo e imprevedibile. Questo caso accidentale ha quindi permesso agli studiosi di fare una scoperta cruciale, già nella prima metà dell'800, riguardo al funzionamento della corteccia prefrontale, e ha portato ad un susseguirsi di ulteriori ricerche che hanno indagato ancora più nello specifico il ruolo di queste aree nel monitoraggio delle funzioni esecutive (Di Vara et al., 2017; Goldstein et al., 2014; Logue & Gould; 2014).

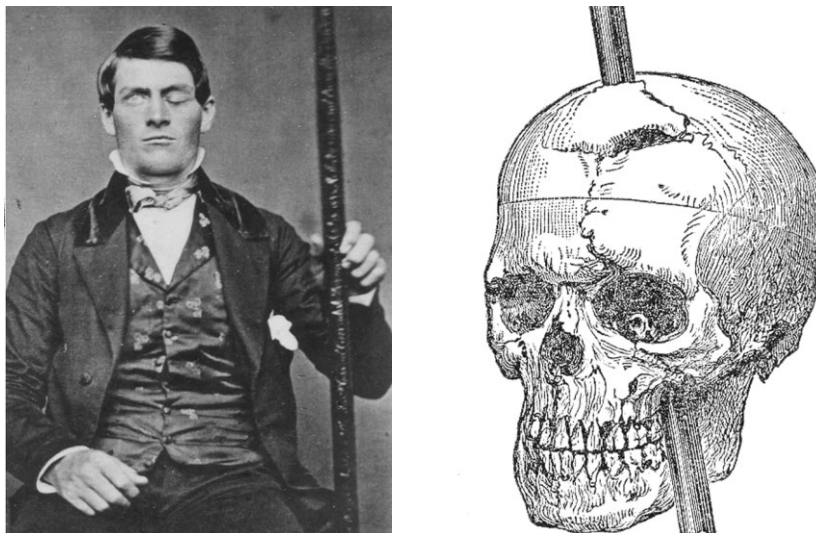


Figura 2.1 – A sinistra Phineas Gage dopo l'incidente. A destra una ricostruzione delle aree lesionate coinvolte.

Ulteriori studi, che sono stati svolti su pazienti che presentavano compromissioni alla corteccia prefrontale, hanno dimostrato una generale difficoltà, in questi individui, nelle capacità di coordinamento durante lo svolgimento di alcuni compiti: oltre alle difficoltà inibitorie mostrate da Gage, possono verificarsi anche una compromissione del giudizio, dell'organizzazione, della pianificazione e dei processi decisionali. Interessante è notare che le prestazioni dei soggetti con queste menomazioni risultano pressoché normative durante i test volti a misurare una funzione in generale, e appaiono invece evidentemente

deficitarie nel momento in cui più funzioni devono essere coordinate, e questo accade nel laboratorio di ricerca ma soprattutto nella vita quotidiana (Elliott, 2003).

La scoperta di questa stretta relazione tra la corteccia prefrontale e determinati comportamenti è stata di rilevante importanza e, a partire dagli anni '50, si è inserita al centro dell'interesse di psicologi e scienziati. Essenziali sono stati i contributi di alcuni importanti autori: per primo, Broadbent nel 1953 ha concentrato i suoi studi sulle differenze presenti tra i processi mentali automatici e quelli invece di tipo volontario; successivamente, Schiffrin e Schneider nel 1977 hanno ulteriormente approfondito questa scoperta e hanno intuito l'importante ruolo svolto dall'attenzione selettiva, che rappresenta appunto un'importante componente delle funzioni esecutive. Lo studioso statunitense Posner nel 1975 individua la presenza di un sistema esecutivo, separato dal sistema attenzionale, responsabile nel focalizzare l'attenzione sugli stimoli ambientali, e conia il termine "controllo cognitivo" (Goldstein et al., 2014). Analogamente, è possibile evidenziare il modello proposto da Shallice, che nel 1988 suggerisce la presenza di un sistema di monitoraggio capace di controllare e inibire le risposte automatiche a favore di azioni programmate e volontarie; o in alternativa quello concepito da Baddeley (1992), studioso noto per il suo modello sulla memoria a breve termine, che propone la presenza di un "esecutivo centrale", capace di manipolare le informazioni presenti appunto nella memoria a breve termine. Secondo questi ultimi autori, le funzioni esecutive sarebbero guidate e controllate a livello strutturale da un unico sistema "centrale", che trova il suo collocamento nei lobi frontali (Di Vara et al., 2017; Goldstein et al., 2014). A proporre il termine "esecutivo" riferendosi ai processi di funzionamento della corteccia prefrontale fu l'austriaco Karl Pribram nel 1973 e, in seguito a ciò, sotto a questa definizione, sono state raggruppate una moltitudine di capacità e funzionalità cognitive, che riguardano l'attenzione, la regolazione emotiva, la flessibilità, il controllo inibitorio, l'imitazione, l'organizzazione, la pianificazione, l'autonitoraggio e la memoria di lavoro; questo ha reso difficile il tentativo di dare un'unica definizione alle funzioni esecutive. È possibile notare, nonostante ciò, che tutti i casi elencati trattino di azioni che sono finalizzate a raggiungere uno scopo (Goldstein et al., 2014).

Quando il costrutto delle funzioni esecutive ha iniziato ad essere al centro del dibattito scientifico, si tendeva a concepire queste abilità come controllate dalla medesima area cerebrale, suggerendo una strutturazione di tipo unitaria. Oggi la ricerca è invece a

favore di un'ottica multi-componenziale, è infatti dimostrabile come le diverse funzioni siano indipendenti e dissociabili, seguendo diverse traiettorie di sviluppo (Di Vara et al., 2017). Riprendendo il tema della localizzazione cerebrale, che permette di identificare dove avvenga il controllo delle funzioni esecutive, è utile notare che spesso la sua definizione e il termine "funzioni del lobo frontale" siano state spesso utilizzate come sinonimi. A supporto di questa tesi, gli studi svolti in laboratorio hanno confermato che soggetti con lesioni al lobo frontale mostrano prestazioni peggiori in alcuni compiti complessi, come il Wisconsin Card Sorting Test o il compito Tower of Hanoi, rispetto ai soggetti con lobo frontale non danneggiato (Logue & Gould; 2014). Tuttavia, i recenti studi sostenuti dalle nuove tecniche di neuroimaging hanno puntualizzato che queste aree non sono le uniche imputabili al funzionamento di queste abilità, ma come, allo stesso modo, anche le regioni sottocorticali abbiano un importante ruolo. Per fare un esempio, il circuito corticostriale è risultato altrettanto importante per i processi organizzativi, e svolge il ruolo di connettere le regioni della corteccia frontale con le strutture striatali, sia a livello anatomico sia a livello funzionale. La prova che queste strutture striatali svolgano importanti funzioni per la mediazione delle funzioni esecutive è apparso evidente durante gli studi che avevano come oggetto principale i deficit di soggetti con disturbi neurologici che coinvolgono queste aree. Per citare un caso specifico, si riportano i risultati di diversi studi svolti nei pazienti affetti da morbo di Parkinson, i quali hanno efficacemente dimostrato come un deficit nelle funzioni esecutive sia concomitante a delle disfunzioni ai gangli della base (Elliott, 2003). La corteccia prefrontale non è pertanto da considerarsi l'unica area responsabile del controllo degli impulsi e del funzionamento di questi comportamenti complessi, ma piuttosto si può affermare che questi ultimi sono coinvolti in un complesso meccanismo di interazione tra vari circuiti corticostriali, che vengono modulati a loro volta da input dopaminergici, noradrenergici, serotoninergici e colinergici (Elliott, 2003; Logue & Gould; 2014). La buona capacità di questi neurotrasmettitori nel modulare le risposte rispetto agli input ambientali consente un efficace adattamento al contesto di vita, e questo è uno degli aspetti più importanti delle funzioni esecutive. Appare dunque evidente come, nel caso esse fossero in qualche misura alterate, questo influirebbe negativamente sulla salute mentale dei soggetti. Dagli studi emerge che deficit nelle funzioni esecutive, oltre che essere presenti in individui con disturbi neurologici, sono riscontrabili anche in numerosi disturbi psichiatrici, tra cui depressione,

schizofrenia, disturbo da deficit di attenzione ed iperattività, disturbo bipolare, abuso di sostanze, disturbo da comportamento antisociale e disturbo ossessivo-compulsivo (Elliott, 2003, Logue & Gould; 2014).

Nelle fasi evolutive, in particolare nell'età scolare, le funzioni esecutive risultano predittive di un buon rendimento scolastico. Le capacità cognitive, come anche quelle sociali, hanno uno stretto legame con le capacità di autoregolazione – che verranno approfondite nel Capitolo 2.2 – ossia dei processi di tipo cognitivo e comportamentale che permettono ad un individuo di mantenere in equilibrio emozioni, motivazioni e cognizioni e così facendo favorire un buon adattamento all'ambiente. Mantere l'attenzione durante un compito difficile, non perdere la concentrazione anche se intorno sono presenti distrazioni, seguire delle regole, inibire comportamenti non appropriati ed essere partecipe nelle attività della classe sono tutti esempi di situazioni in cui viene richiesta ai bambini di questa fascia d'età l'attivazione delle funzioni esecutive al fine di adattarsi nel modo più efficace all'ambiente scolastico. Nello specifico, è stato dimostrato dalla ricerca che le due funzioni che più di tutte sono capaci di assicurare il successo scolastico in età prescolare sono la memoria di lavoro e il controllo inibitorio (Molfese et al., 2010). È stato dimostrato infatti come la prima, ossia la capacità che permette di tenere a mente, seppur per un tempo limitato, una certa quantità di informazioni e riuscire ad utilizzarle per svolgere un dato compito, predica nel bambino un buon funzionamento sia dal punto di vista scolastico che da quello intellettuale. Risulta strettamente in relazione anche con buone prestazioni in matematica, nella capacità di lettura e infine in quelle ortografiche (Röthlisberger et al., 2013). La seconda, ossia il controllo inibitorio, è identificata come la capacità di analizzare la rilevanza delle informazioni, e di ignorarle qualora risultino irrilevanti o fonte di distrazione; anche in questo caso, tale capacità è stata identificata come indispensabile per le abilità matematiche. In aggiunta a ciò, una maggiore capacità inibitoria si associa a meno difficoltà comportamentali durante la permanenza in classe e a valutazioni migliori da parte degli insegnanti sullo svolgimento di alcuni compiti; a supporto di tale affermazione, si può notare come i bambini che presentano deficit delle abilità di lettura hanno anche più difficoltà ad ignorare gli stimoli distraenti (Molfese et al., 2010). Nonostante non si tratti di un argomento profondamente indagato, alcuni risultati evidenziano come i fattori che possono influire sulla relazione tra funzioni esecutive e abilità scolastiche siano il quoziente intellettuale, lo stato

socioeconomico della famiglia, il tipo di supporto della rete sociale, il funzionamento socioaffettivo e le caratteristiche sociodemografiche (Röthlisberger et al., 2013).

Dal punto di vista neurale, l'età infantile è cruciale per il fatto che in questi periodi si verificano profondi cambiamenti nello sviluppo del cervello, in particolare nei circuiti prefrontali, che di conseguenza permettono un implemento delle abilità nelle funzioni esecutive (Röthlisberger et al., 2013); inoltre, è stato dimostrato che le suddette funzioni non sono rigide e stabili, ma se alimentate da esercizio ed apprendimento possono essere modificate e perfezionate nel tempo; appare dunque essenziale intervenire su questo aspetto soprattutto durante queste prime fasi evolutive. (Di Vara et al., 2017). La maggior parte della letteratura che ha trattato di funzioni esecutive si è a lungo concentrata prevalentemente sugli adulti, e in misura minore sulle fasce evolutive. Recentemente, alcuni studiosi hanno preso in esame la questione dei tempi di maturazione cerebrale, notando come le prestazioni deficitarie di questi soggetti dalla fascia di età inferiore potessero essere spiegate dal fatto che, durante i primi periodi, la corteccia frontale e quella prefrontale non siano ancora pienamente sviluppate, e di conseguenza l'attivazione delle diverse aree cerebrali, dato un compito da eseguire, apparirà instabile. L'elaborazione dello stimolo apparirà dunque inefficiente, e la risposta sarà meno accurata, richiedendo tempi più lunghi. Con l'insorgenza di nuove connessioni tra le varie aree cerebrali, i circuiti diventano più efficaci, e di conseguenza il funzionamento delle reti più stabile ed efficiente (Molfese et al., 2010).

2.2 La Regolazione Emotiva

Accanto al costrutto delle funzioni esecutive, che come precedentemente esposto sono essenziali per il raggiungimento di obiettivi prefissati, è di fondamentale importanza concentrare l'attenzione su un ulteriore aspetto, ossia quello della regolazione emotiva. Per comprendere l'importanza di questo concetto, si pensi che, di fatto, ogni risposta generata per adattarsi all'ambiente circostante viene coordinata, oltre che ad una componente cognitiva, anche ad una emotiva. Quest'ultima può essere definita come una reazione, dalla base biologica, che emerge in maniera non controllata razionalmente e che diventa responsabile di un certo tipo di output espressivo o fisiologico. L'autoregolazione è essenziale perché permette di agire su questa risposta dal carattere impulsivo e istintuale ai fini di modularla e assumere i comportamenti più adeguati al tipo di situazione contestuale in corso (Gross & Muñoz, 1995). Si può tradurre quindi come un sistema di

controllo che permette di adattarsi al contesto, che si può osservare in particolare nei processi fisiologici, attentivi, emotivi, comportamentali e cognitivi (Bell & Calkins, 2012). Il ricercatore statunitense James Gross (2002) individua, ad un livello più generale, due modalità di regolazione emotiva: una prima strategia si focalizza sull'antecedente, che fa riferimento a tutti quei comportamenti che vengono messi in atto dal soggetto prima che la risposta emotiva "istintiva" sia stata completamente attivata e abbia modificato la risposta fisiologica periferica ed il comportamento; la seconda è la strategia basata sulla risposta, ossia i comportamenti che vengono assunti una volta che l'emozione è già in atto e gli output sono già stati generati; a questo punto, questa risposta deve essere controllata e, per l'appunto, regolata. Uno studio svolto da questo stesso autore aveva come obiettivo il fatto di indagare se ci fossero dei modi migliori o peggiori di regolare le emozioni, concentrandosi in particolare su due tipologie di tecniche; quella della rivalutazione e quella della soppressione. La prima si definisce come una risposta di tipo cognitivo, e consiste sostanzialmente nel cercare di cambiare l'interpretazione di una certa situazione per diminuire l'impatto emotivo che potrebbe suscitare; questa è una tecnica che si basa sull'antecedente. Viceversa, la seconda è incentrata sulla risposta, e consiste nell'inibizione della risposta espressiva, a favore invece di un arousal fisiologico dovuto allo sforzo di internalizzare il sentimento percepito che non si vuole lasciar trapelare. I risultati confermano che la soppressione non è da considerarsi una tecnica adeguata nell'ottenimento di un outcome efficace ed adattivo.

Da tutte queste definizioni, è intuibile il fatto che la regolazione emotiva sia un costrutto complesso e composto da più elementi che cooperano assieme ai fini modulare e mantenere equilibrata l'esperienza emotiva del soggetto. Questi processi di autoregolazione sono di primaria importanza, non solo durante l'età adulta, dove un certo controllo sulle proprie emozioni è richiesto in una moltitudine di contesti, ma anche in età evolutiva, dal momento che influiscono sulla capacità dei bambini in primo luogo, di prestare attenzione ai segnali sociali, secondariamente di generare risposte sociali complesse, e, infine, di migliorare il loro generale funzionamento sociale. Per poter comprendere a fondo l'utilità di questa capacità, è utile concentrarsi in particolare sulle prime relazioni sociali che i bambini stabiliscono con i loro coetanei: queste provocano in loro una certa eccitazione emotiva, e il modo in cui i bambini riescono a gestire e a regolare tale eccitazione determina la percezione che loro coetanei avranno di loro, e di

conseguenza il tipo di relazioni che stabiliranno (Blair et al., 2015). È stato dimostrato come, in effetti, i bambini che presentano reazioni particolarmente marcate dal punto di vista emotivo – positive o negative che siano – con maggiori probabilità saranno rifiutati o isolati dai coetanei. Viceversa, bambini con una buona padronanza delle proprie reazioni emotive e comportamentali, mostrano anche interazioni più funzionali e di conseguenza vengono accettati positivamente da pari. La capacità, quindi, di regolare la propria eccitazione emotiva in una modalità che nel contesto appare appropriata è una componente predittiva di un buon adattamento e di interazioni sociali di successo (Blair et al., 2015). I bambini che sono più competenti nel modulare le proprie reazioni emotive, probabilmente sono anche maggiormente capaci di utilizzare le loro abilità sociali nelle situazioni che lo richiedono; le abilità a cui si fa riferimento sono la condivisione, la cooperazione, l'aiuto verso gli altri, un'adeguata affermazione di sé stessi mettendo in atto assertività, la capacità di rispondere in modo appropriato nelle diverse situazioni, in particolare in quelle di conflitto, oltre che avere più successo con i gruppi dei pari e sperimentare una maggiore accettazione. Sviluppare buone capacità di autoregolazione è dunque importante per una serie di fattori che riguardano il benessere dei bambini, perché permette loro di tollerare la frustrazione, di frenare gli impulsi, di ritardare la gratificazione e, non meno importante, per esprimere le loro emozioni in modo socialmente accettabile. Una scarsa regolazione delle emozioni in età prescolare è risultata correlata a livelli più alti di comportamenti esternalizzanti (Frankel et al., 2012). Gli studiosi Block e Block, nel 1980 hanno trovato una relazione tra una bassa regolazione emotiva e la presenza di aggressività, iperreattività, scarso comportamento cooperativo e prosociale, presenza di repressione durante i momenti stressanti, sentimenti di gelosia e infine mancanza di pianificazione e conformità. Ci sono inoltre prove che l'eccitazione emotiva e l'intensità temperamentale siano associate a scoppi di rabbia, aggressività a turbamento emotivo (Eisenberg et al., 1994). Oltre che ai benefici nel momento di vita presente, una migliore padronanza delle abilità sociali durante l'infanzia è in grado di comportare, durante l'adolescenza e anche nella prima età adulta, un maggiore successo in ambito lavorativo; mentre, dal punto di vista relazionale, assicurerebbe una maggiore qualità nel rapporto con il partner (Blair et al., 2015).

Oltre a rappresentare un importante traguardo evolutivo, l'acquisizione di abilità efficaci di autoregolazione risulta essenziale per le sfide e le situazioni della vita

quotidiana in età adulta, fungendo quindi da indicatore per il benessere dell'individuo. In particolare, è possibile identificare tre aree che predicano una buona salute mentale: la capacità di lavorare in modo creativo e produttivo, la presenza di relazioni positive e soddisfacenti e infine la capacità di essere in equilibrio e in armonia con sé stessi (Gilmore, 1973; citato in Gross & Muñoz, 1995). In tutte e tre queste aree, la capacità di autoregolazione porta ad innegabili benefici per l'individuo: nella prima situazione, quella che riguarda il contesto lavorativo, viene richiesta una prolungata attenzione nei confronti delle mansioni da svolgere, e di conseguenza è necessario saper regolare i propri sentimenti e talvolta metterli temporaneamente da parte per potersi concentrare senza distrazioni. È ugualmente importante, sul luogo di lavoro, tenere sotto controllo possibili crisi di rabbia, se si è soggetti ad esse, e saper agire secondo le regole sociali (Gross & Muñoz, 1995). Nel secondo caso, riguardante l'ambito delle relazioni, appare chiaro come buone capacità di autoregolazione permettano ad un individuo di impegnarsi in interazioni positive, assumendo talvolta atteggiamenti di collaborazione e cooperazione, e dunque comportino maggiore accettazione da parte degli altri e una migliore qualità dei rapporti. Viceversa, deficit in queste abilità possono comportare una mancata assertività e causare un funzionamento sociale disadattivo, impedendo un tipo di intimità sana e positiva, con particolare riferimento alle relazioni di coppia. A supportare tale asserzione, l'American Psychiatric Association (1994) sottolinea come nei disturbi di personalità molto spesso si assiste ad un'incapacità nel saper gestire le proprie emozioni, che quindi si traduce in una difficoltà nello sviluppare relazioni soddisfacenti. (Blair et al., 2015; Gross & Muñoz, 1995). L'ultima capacità delle tre elencate precedentemente fa riferimento all'abilità di stare bene con sé stessi, di dare un significato della propria vita, di provare sentimenti di integrazione e coesione del sé. Essere in grado di provare emozioni positive quando si è da soli, oltre che favorire una sana salute mentale, riduce le probabilità di iniziare relazioni per il bisogno originario di non sentirsi soli, o le possibilità di invischiarsi in comportamenti malsani, come nell'abuso di sostanze stupefacenti (Gross & Muñoz, 1995).

I processi di autoregolazione hanno origine remota nel tempo. Un bambino appena nato non è in grado di regolare i propri stati autonomamente, ma è dotato, in modo innato, di alcune caratteristiche strutturali e fisiche, come una particolare morfologia del volto o alcuni segnali comunicativi come vocalizzi, sorrisi o il pianto, che consentono al bambino

di attirare l'attenzione del caregiver, aumentando le possibilità di ricevere cura da loro e garantirsi quindi la sopravvivenza. Attraverso questi segnali il bambino è in grado anche di comunicare i propri stati, e permettere al genitore di rispondervi nel modo più efficace (Venuti et al., 2018). In particolare, il pianto è uno degli strumenti di cui il bambino si serve maggiormente per segnalare i propri stati all'esterno – come la fame, il dolore o la paura – in attesa che vengano quindi regolati (Bowlby, 1969; Venuti et al., 2018). Successivamente, vengono apprese delle tecniche per controllare in maniera autonoma le proprie emozioni; banalmente, un primo rudimentale strumento di autoregolazione è dirigere e distogliere lo sguardo su alcuni stimoli piuttosto che su altri. Queste tecniche vengono poi affinate con lo sviluppo dell'apparato motorio: imparando a muoversi autonomamente nello spazio esplorandolo ed effettuando cambiamenti nell'ambiente, il bambino diventa in grado di avvicinarsi o di ritirarsi in modo coscienzioso dagli stimoli presenti (Gross & Muñoz, 1995). Un ulteriore traguardo di estrema rilevanza è lo sviluppo del linguaggio, con il quale il bambino apprende dai genitori a modulare le sue risposte emotive, e ad impartire autoistruzioni ai fini di regolarsi. L'ingresso in ambienti sociali – quali l'asilo, la scuola, i parchi... ambienti dove sono quindi presenti i coetanei – permette al bambino di sperimentare numerose emozioni, ad apprendere quali tra queste sono socialmente ammissibili, o comunque in che modo potersi esprimere nel modo più adattivo. Cimentarsi in queste prime relazioni sociali è cruciale anche perché il bambino può imparare a riconoscere le emozioni provate dagli altri, aprendo la strada allo sviluppo dell'empatia, che gli permetterà poi un buon inserimento sociale, in particolare con i pari. Nelle situazioni sociali, inoltre, è possibile osservare in che modo anche gli altri gestiscono con successo le proprie emozioni e apprendere così nuove strategie sulle modalità per autoregolarsi. Al termine della tarda infanzia e con l'inizio dell'adolescenza, le capacità cognitive divengono sempre più sofisticate e di conseguenza emergono nuove strategie di regolazione delle emozioni, quali la riformulazione, l'assunzione del punto di vista degli altri o la rappresentazione di obiettivi futuri. L'adolescente crea il suo ambiente di crescita scegliendo i suoi amici, le sue attività o la scuola da frequentare, per citare solamente qualche esempio. Sviluppa inoltre un senso di sé che include informazioni sul suo stile emotivo e interpersonale, e una preferenza sulle modalità di autoregolazione personale (Gross & Muñoz, 1995).

Come esposto precedentemente, nelle fasi iniziali dello sviluppo i genitori, o comunque l'adulto che si prende cura del bambino, svolgono un ruolo essenziale nella regolazione delle loro emozioni; ma soprattutto, ciò che appare davvero significativo è il modo in cui i genitori rispondono a queste richieste inconsce. In una situazione ottimale, i caregiver suscitano emozioni positive nei loro bambini durante attività ludiche e interattive, e nel momento in cui i figli esprimono emozioni negative essi li confortano. Quando un bambino è turbato, per esempio, esprimerà questo stato attraverso il pianto, e grazie alla pronta risposta del genitore che lo calma e lo rassicura, avverrà la regolazione emotiva. I bambini fanno quindi inizialmente molto affidamento sui genitori per regolare le loro emozioni; con la crescita invece questa necessità viene evidentemente sempre più a meno, dal momento che il bambino inizia ad affinare tecniche autoregulative (Frankel et al., 2012). Ciò che comunque è degno di nota è il fatto che alcune caratteristiche dell'esperienza familiare siano correlate al tipo di comportamenti e di atteggiamenti messi in atto dal bambino in presenza dei pari. I bambini con figure genitoriali affettuose, responsive e dai metodi educativi coerenti risultano più competenti nei comportamenti sociali con i coetanei rispetto ai bambini i cui genitori si mostrano rifiutanti, severi o eccessivamente permissivi. Questo a rimarcare quanto il contesto familiare e le esperienze vissute al suo interno possano essere impattanti per l'apprendimento del generale funzionamento delle emozioni e per l'acquisizione di abilità di regolazione (Cassidy et al., 1992).

2.3 Un nesso fra i due costrutti

Sebbene, per molto tempo, funzioni esecutive ed autoregolazione emotiva siano state concepite come due costrutti del tutto indipendenti, recenti ricerche hanno potuto dimostrare come esista un'importante relazione tra questi. È stato trovato, infatti, che una buona efficacia del sistema esecutivo, rappresentata da una buona memoria di lavoro, da una efficiente inibizione comportamentale e dalla presenza di flessibilità cognitiva, può essere associata anche ad un'autoregolazione di maggiore successo (Hofmann et al., 2012). Da una parte, la regolazione emotiva è definita come un comportamento diretto ad uno scopo, inserito all'interno di una finestra temporale breve e limitata, che comprende comportamenti che sono finalizzati al raggiungimento di un risultato, principalmente riferito ad un autocontrollo mentale emotivo che possa prevalere su alcuni impulsi prepotenti ed indesiderati. Per quanto riguarda le funzioni esecutive, invece, come è stato

approfonditamente esplicitato nel Capitolo 2.1, si fa riferimento a tre capacità sostanziali: la memoria di lavoro, l'inibizione, e la flessibilità. Secondo la rassegna della letteratura svolta da Hofmann e colleghi (2012), è possibile sostenere che le tre componenti delle funzioni esecutive supportino alcuni importanti meccanismi che entrano in gioco durante la regolazione emotiva. In modo particolare, la relazione più studiata è quella della funzione svolta dalla memoria di lavoro. Essa può essere implicata sia in aspetti prettamente cognitivi, che l'autore definisce "freddi" ma anche durante processi "caldi", ossia durante alcune esperienze emotive che insorgono al di fuori del controllo dell'individuo, come quando si provano desideri o alcuni tipi di voglie, in particolare quelle alimentari. A livello neurologico, risulta avere un ruolo centrale ancora una volta la corteccia prefrontale, essenziale nei processi di pianificazione degli obiettivi e per fare utilizzo delle informazioni presenti in memoria a breve termine al fine di raggiungimento degli stessi (Hofmann et al., 2012; Miller & Cohen, 2001). È stato inoltre dimostrato che prestazioni deficitarie nelle funzioni esecutive, di durata anche solo temporanea, possono essere la causa dell'insorgenza di alcuni fattori di rischio situazionali, che a loro volta causano un fallimento nei processi di autoregolazione. Per concludere, dal momento che le funzioni esecutive possono essere soggette a miglioramento, se allenate, la stessa cosa è possibile nel campo dell'autoregolazione comportamentale. Diverse ricerche hanno stabilito che la memoria di lavoro contribuisce il successo dell'autoregolazione del comportamento, in particolare quello alimentare, quello emotivo e quello relativo all'aggressività (Hofmann et al., 2012).

Riassumendo, è stata illustrata l'importanza di un buon funzionamento esecutivo e di una buona capacità di autoregolazione, essenziali in numerosi aspetti di vita. Con un particolare riferimento all'età evolutiva, sono stati qui riportati i risultati di diversi studi che confermano come questi due costrutti siano cruciali per un buon adattamento nel contesto scolastico e sociale, soprattutto nelle relazioni con i pari. Quando queste abilità si mostrano preservate, è stato trovato che fungono da fattore protettivo anche in numerosi aspetti della futura vita adulta. Dal momento che, se ben allenate, sia le funzioni esecutive sia l'autoregolazione emotiva possono incrementare di qualità, appare chiaro come intervenire in fasce precoci di sviluppo in questo campo rappresenta una importante risorsa per un sano sviluppo.

2.4 Effetti degli PFAS sulle Funzioni Esecutive

Diverse ricerche epidemiologiche e tossicologiche svolte a seguito degli episodi di esplosione ai composti perfluorurati hanno suggerito i potenziali impatti negativi che può avere una esposizione precoce a queste sostanze sul neurosviluppo. È stato suggerito, in particolare, come queste sostanze agiscano su diversi aspetti del comportamento e sulle abilità esecutive (Harris, 2021; Liew, 2018). Uno studio di Vuong e colleghi (2018), per esempio, aveva come obiettivo esaminare le associazioni tra sei composti sieriche di PFAS in relazione a compiti misuranti le funzioni esecutive prendendo in esame un campione di bambini di tre e otto anni. Quello che emerse fu che maggiori concentrazioni di perfluorononanoato (PFNA) si associavano ad un funzionamento esecutivo globale all'età di otto anni essenzialmente più scarso rispetto ai bambini con concentrazioni sieriche minori di questa sostanza. Inoltre, bambini che presentavano una elevata presenza di PFOS avevano maggiori probabilità di riscontrare una compromissione clinica rispetto alle funzioni di controllo inibitorio, di flessibilità cognitiva, di controllo emotivo e di metacognizione. Un precedente studio condotto dallo stesso ricercatore nel 2016 ha mostrato che la presenza di concentrazioni di PFAS nel siero materno durante la gravidanza, che conseguenza vengono trasmessi al feto attraverso il sangue nel cordone ombelicale e durante l'allattamento (Girardi et al., 2022; Harris, 2021; Pérez et al., 2013; Pitter et al., 2020), sia associato a livelli inferiori di prestazione nelle funzioni esecutive (Vuong et al., 2016). In un ulteriore studio, condotto da Bach e colleghi (2022), sono stati misurati i livelli di sedici tipi di PFAS nel plasma materno e messi in relazione con le abilità attentive nei loro bambini all'età di cinque anni. I risultati hanno mostrato che in particolare il perfluorottano sulfonamide (PFOSA) è correlato ad un'attenzione selettiva meno efficace e, in accordo con i risultati dello studio di Vuong e colleghi del 2018, che la presenza di PFOA si associa in generale a prestazioni peggiori nelle funzioni esecutive. Tuttavia, si sottolinea la scarsità di studi che esaminano le associazioni tra PFAS e funzioni esecutive oltre che alla presenza di incoerenza negli studi epidemiologici (Harris, 2021; Vuong et al., 2018) e di conseguenza la necessità di ampliare gli studi in questo campo per comprendere a pieno le conseguenze che la contaminazione da PFAS può aver avuto sullo sviluppo dei bambini che ne sono entrati a contatto nelle prime fasi di sviluppo durante le finestre sensibili.

3 Tono Cardiaco Vagale

3.1 Regolazione emotiva in funzione del Sistema Nervoso Autonomo

Le emozioni vengono considerate delle risposte organiche di cui l'individuo si serve per far fronte ad un certo evento ambientale. Esse hanno carattere fortemente autoregolativo, e permettono un efficiente coordinamento dell'organismo al fine del raggiungimento di un determinato scopo. Una risposta emotiva è la risultante di una selezione di altre risposte, in un processo in cui un soggetto individua la più adatta, inibendo quelle meno appropriate (Thayer & Lane, 2000). Quando questo risulta deficitario e le risposte comportamentali non sono adeguate alla situazione, si sta assistendo ad un processo di disregolazione affettiva, che nei casi più gravi può caratterizzare alcune patologie, tra cui l'alessitimia, la depressione, il disturbo di panico, il disturbo d'ansia generalizzato, personalità ostile, ipertensione e malattie coronariche (Calkins & Keane, 2004; Thayer & Lane, 2000). Anche dal punto di vista sociale alcune strategie di regolazione del proprio stato possono portare a comportamenti difensivi piuttosto che di avvicinamento, come è possibile notare in alcuni disturbi come l'autismo, la schizofrenia o il disturbo reattivo dell'attaccamento (Porges, 2007).

La capacità di controllare la manifestazione delle proprie emozioni e del proprio comportamento viene sviluppata già a partire dai primi anni di vita e ha una particolare importanza soprattutto ai fini di un buon adattamento nei contesti sociali, in particolare a quello scolastico (Calkins & Keane, 2004). Riprendendo il costrutto delle funzioni esecutive (descritte nel dettaglio nel Capitolo 2), è importante notare come un aspetto legato all'autoregolazione, soprattutto in queste prime fasi di vita, sia l'attenzione selettiva, ossia la capacità di concentrare o distogliere l'attenzione in relazione alla situazione che si presenta; gli stimoli con particolare significatività per un soggetto attireranno in maggior misura la sua attenzione e le sue risorse, per questo la capacità di selezionare informazioni significative e ignorare quelle irrilevanti è fondamentale per un efficace adattamento all'ambiente (Thayer & Lane, 2000). La ricerca ha confermato che, dal punto di vista cerebrale, regolazione emotiva e funzioni esecutive sono principalmente sotto il controllo delle regioni orbitofrontali e dorsolaterali della corteccia prefrontale, e

a questo consegue che un controllo ridotto della corteccia prefrontale sull'amigdala ed una scarsa connettività tra le aree della corteccia e l'amigdala stessa possano essere fattori che predicono una disregolazione emotiva (Scrimin et al., 2019).

Oltre a queste regioni, tuttavia, la regolazione delle emozioni è risultata connessa anche a modulazioni psico-fisiologiche; è stato infatti dimostrato che un indice altamente affidabile per lo studio del funzionamento della regolazione emotiva è rappresentato dall'influenza del ramo parasimpatico del sistema nervoso autonomo (SNA), che in particolare svolge la sua azione sul nodo senoatriale del cuore, menzionato anche con la definizione "tono cardiaco vagale". Secondo una teoria sviluppata dal ricercatore Thayer, chiamata teoria dell'integrazione neuroviscerale, l'attivazione della rete cerebrale, che include corteccia insulare, corteccia cingolata anteriore rostrale e amigdala, determina un aumento dell'input del nervo vagale sul nodo senoatriale del cuore (Scrimin et al., 2019; Thayer & Lane, 2000). Un'ulteriore teoria che approfondisce questi aspetti è quella formulata da Porges (1995a, 2001, 2003, 2007) che prende il nome di "teoria polivagale". Essa, infatti, prende in considerazione l'influenza che la regolazione parasimpatica del sistema nervoso ha nei confronti dell'attività cardiaca e la mette in relazione al funzionamento adattivo dei bambini; anche il mantenimento dell'aritmia sinusale respiratoria (che verrà approfondita nel corso del capitolo) supporta un buon adattamento all'ambiente e la regolazione emotiva in circostanze di sfide sociali (Hastings et al., 2008). Dal momento che il funzionamento del sistema nervoso parasimpatico influisce sul controllo dell'attenzione, delle emozioni e del comportamento, appare utile un sistema per poterlo quantificare, e questo è possibile grazie alla stima della frequenza cardiaca e del tono cardiaco vagale (Calkins & Keane, 2004; Thayer & Lane, 2000). Per esempio, la letteratura evidenzia come i bambini che durante situazioni per loro complicate mostrano un maggiore ritiro vagale sono maggiormente in grado di regolare le proprie emozioni e i propri stati, di controllare l'attenzione e, più in generale, hanno minori problemi comportamentali (Calkins et al. 2007).

Lo studio dell'azione del ramo parasimpatico, che modula l'output metabolico e funge da mediatore tra omeostasi interna e richieste esterne, risulta quindi fondamentale se si considera che un individuo si trova a dover mettere in atto strategie di coping quotidianamente; la sua capacità di regolare le proprie emozioni risulta quindi fondamentale per una buona competenza sociale e di conseguenza per un efficace

adattamento all'ambiente. È quindi evidente come anche lo studio del funzionamento fisiologico sia di enorme importanza per comprendere le capacità autoregolative (Graziano et al., 2007).

Il seguente capitolo ha come obiettivo quello di descrivere il funzionamento di questi principali sistemi fisiologici, come il sistema nervoso autonomo e circolatorio, con una particolare attenzione per il tono cardiaco vagale, utilizzato come indice del funzionamento dei sistemi appena citati e di mostrare come tutti questi possano essere considerati indicatori di buone o scarse capacità di adattamento all'ambiente e di abilità esecutive e autoregolative.

3.2 SNA e influenze sul sistema cardiaco

Il sistema nervoso autonomo è una rete di cellule e fibre ampiamente distribuita in tutto l'organismo ed è considerata la parte del sistema nervoso che governa le funzioni viscerali, il cui funzionamento avviene senza il controllo cosciente o volontario dell'individuo (Bear et al., 2016; Porges, 2003). Esso è fondamentale in quanto ha un ruolo centrale nella regolazione dell'ambiente interno dell'organismo, per assicurare il mantenimento dell'omeostasi (Porges, 1992; 1995a); quest'ultima rappresenta l'equilibrato funzionamento dei processi fisiologici e il mantenimento di un ambiente interno costante (Bear et al., 2016). Dal punto di vista prettamente strutturale, il SNA costituisce, assieme al sistema motorio somatico, la totalità delle efferenze neurali del sistema nervoso centrale, ossia le strutture che si occupano della trasmissione di informazioni dal sistema nervoso centrale agli organi bersaglio. Se il sistema motorio somatico ha il compito di innervare e fornire dei comandi alle fibre dei muscoli scheletrici, il sistema nervoso autonomo è responsabile invece del controllo di ogni altro tessuto e organo innervato del corpo. Il sistema nervoso autonomo si compone di due diverse divisioni, che operano in parallelo ma in maniera antagonista: quella simpatica e quella parasimpatica; queste hanno origine nel tronco encefalico e insieme innervano tre tipi di tessuti, quali ghiandole, muscolatura liscia e il muscolo cardiaco (Bear et al., 2016; Porges, 1992; 1995a; 2003; Porges et al., 1994). Il sistema nervoso simpatico si compone di fibre autonome che fuoriescono dai segmenti toracici e lombari del midollo spinale (Porges, 2003) e si attiva generalmente in situazioni di pericolo, siano esse reali o percepite come tali, e prepara l'individuo ad un'azione muscolare che gli permetta di

difendersi o proteggersi, generando, come risposta, dei comportamenti di attacco o fuga (Bear et al., 2016; Porges, 1995a). Questo sistema attiva dunque una produzione metabolica che consente all'individuo di affrontare le sfide che si stanno presentando all'esterno, nell'ambiente: il sangue viene drenato dal serbatoio intestinale per favorire il trasporto di sangue ossigenato ai muscoli scheletrici, ai polmoni, al cuore e al cervello, ed è possibile assistere, per esempio, a dilazione pupillare, ad una restrizione dei vasi sanguigni, ad un'accelerazione della frequenza cardiaca e ad un aumento di pressione sanguigna (Bear et al., 2016; Porges, 1992; 1995a; Porges et al., 1994). Viceversa, il sistema nervoso parasimpatico è composto dalle fibre autonome che escono dal tronco encefalico attraverso i nervi cranici o dai segmenti sacrali del midollo spinale (Porges, 2003) ed è associato alle funzioni di crescita dell'organismo e al ripristino di uno stato di calma. Nel dettaglio, costringe le pupille, stimola la digestione, rallenta la frequenza cardiaca e ottimizza la funzione dei visceri interni (Bear et al., 2016; Porges, 1995a; Porges et al., 1994). Per riassumere il ruolo del sistema nervoso autonomo, dunque, è possibile affermare che questo si occupa di gestire ed organizzare le risorse interne di un organismo al fine di rispondere nel modo più adeguato agli stimoli interni ed esterni. Per questa ragione, quando si tratta di questo sistema di regolazione non si può ignorare il suo contributo anche nell'espressione fisiologica dello stress (Porges, 1995a).

Una delle misure più utilizzate per studiare l'attività parasimpatica di un organismo è il pattern della frequenza cardiaca. L'attività cardiaca è influenzata in duplice misura sia dal sistema simpatico che da quello parasimpatico, anche se, tra i due sistemi, quello che esercita un effetto più rapido e durevole sulla frequenza a riposo è quello parasimpatico (Holzman & Bridgett, 2017). La frequenza cardiaca, assieme alla pressione sanguigna, è uno dei principali parametri che permette di studiare il funzionamento del sistema cardiovascolare. Quest'ultimo è costituito da due elementi fondamentali: da una parte il sistema vascolare e dall'altro il cuore, che insieme permettono al sangue di raggiungere tutti i tessuti del corpo. Il cuore viene descritto come una 'pompa' che provvede ad un flusso di sangue costante, che dapprima è deossigenato e viene inviato nei polmoni, dove viene ossigenato, e successivamente viene diffuso nel resto del corpo. Tutti gli eventi che si verificano nel cuore tra un battito e l'altro fanno parte del ciclo cardiaco, che si compone di due fasi, ossia la diastole e la sistole; durante la prima fase il cuore si riempie di sangue; nella seconda, invece, il cuore mette in atto la sua azione di

pompa, spingendo il sangue in tutto l'organismo attraverso l'arteria aorta [Fig. 3.1] (Bernston et al., 2007).

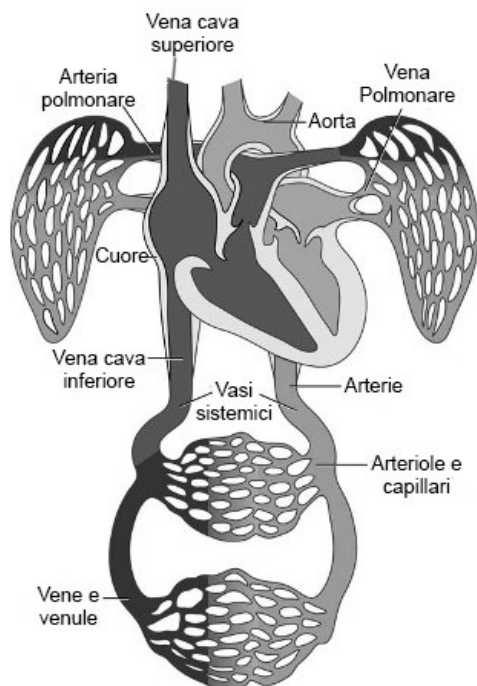


Figura 3.1 – Circolazione sistemica polmonare.
Le aree grigio chiaro indicano il sangue ossigenato.
Le aree grigio scuro indicano il sangue deossigenato.

Uno degli strumenti attraverso cui è possibile osservare il ciclo cardiaco è l'elettrocardiogramma (ECG), che mostra la creazione delle onde PQRST, mostrate in Figura 3.2. In questo sistema, che rappresenta il segnale elettrico del cuore, l'onda P indica l'onda di depolarizzazione che passa attraverso il muscolo atriale, a cui pochi millisecondi dopo sussegue la contrazione degli atri. Successivamente, durante la ripolarizzazione atriale, appaiono le altre onde, le QRS, che descrivono l'intensità della contrazione che avviene a livello dei ventricoli; l'inizio della contrazione ventricolare è chiamato sistole. L'ultima onda visibile nell'ECG che si riferisce ad un ciclo cardiaco è l'onda T, e si verifica quando i ventricoli si ripolarizzano.

L'elettrocardiogramma, quindi, fornisce una rappresentazione grafica del ciclo cardiaco; anatomicamente, quello che accade è che durante la contrazione ventricolare la pressione nei ventricoli aumenta, chiudendo le valvole atrioventricolari poste tra atri e ventricoli. L'inizio della contrazione causa a sua volta un forte aumento della pressione ventricolare, che quando risulta superiore alla pressione relativa all'arteria aorta, causa

l'apertura della valvola aortica, così che il sangue possa ricominciare il suo percorso all'interno del sistema circolatorio, causando una rapida riduzione del volume ventricolare. Dopo questa fase, inizia la diastole (ossia il rilassamento ventricolare) durante il quale la pressione ventricolare scende al di sotto della pressione atriale, dunque le valvole atrioventricolari si aprono nuovamente e il sangue inizia a riempire rapidamente i ventricoli. Il periodo cardiaco, ossia i millisecondi trascorsi tra due battiti consecutivi, viene solitamente misurato tra i due picchi delle onde R, dal momento che esse mostrano l'onda più ampia e con la maggiore inflessione delle altre. Questo tempo misurato in millisecondi viene poi convertito in frequenza cardiaca (Bernston et al., 2007).

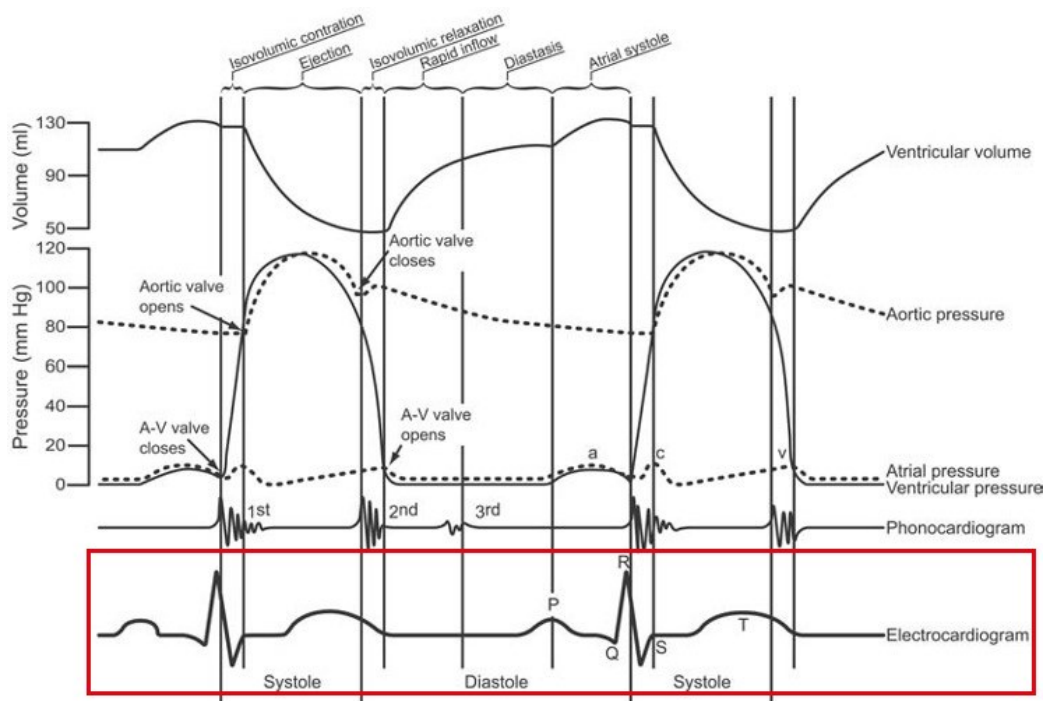


Figura 3.2 – Rappresentazione di due cicli cardiaci in successione. Le onde PQRST dell'elettrocardiogramma sono posizionate in basso, dopo le rappresentazioni del volume ventricolare, della pressione aortica, della pressione atriale, della pressione ventricolare e del fonocardiogramma.

Il sistema cardiovascolare è controllato da entrambi i rami del sistema nervoso autonomo, simpatico e parasimpatico, che spesso innervano uno stesso organo e vi esercitano azioni opposte; queste interazioni sono molteplici e comunque sempre molto complesse. Gli studi sulla fisiologia umana dimostrano che il sistema simpatico è responsabile del

controllo della contrattilità cardiaca, viceversa il parasimpatico attuerebbe un'azione contraria di rallentamento sulla frequenza cardiaca (Bernston et al., 2007).

3.3 Il tono cardiaco vagale

Un componente fondamentale del sistema nervoso autonomo è il nervo vago, decimo nervo cranico, che ha origine nel bulbo del tronco encefalico e afferisce a vari organi bersaglio in posizione più periferica. Tra le sue funzioni più importanti sono presenti il controllo parasimpatico del cuore, dei polmoni e degli organi addominali, è responsabile del senso del dolore in associazione ai visceri e regola i movimenti dei muscoli della gola, come laringe, faringe e muscoli della masticazione (Bear et al., 2016; Porges, 2001); permette quindi una comunicazione bidirezionale tra visceri e cervello (Porges, 1994; 2003). Non si tratta di un singolo percorso neurale, ma piuttosto di un complesso sistema costituito da diversi rami. Nel dettaglio, circa l'80% delle fibre vagali sono *afferenti*, termine che indica la trasmissione di informazioni dagli organi bersaglio al sistema nervoso, e si distingue dal termine *efferente* che indica invece il processo inverso (Bear et al., 2016). In questo modo, essi forniscono informazioni importanti sullo stato viscerale degli organi specifici in maniera rapida e diretta. È stato ampiamente dimostrato come il nervo vago, servendosi delle vie mielinizzate, abbia un'influenza relativamente forte sul nodo senoatriale, che rappresenta il pacemaker naturale del cuore; quando il tono vagale al pacemaker è alto, il vago funge da sistema di contenimento che frena e limita la velocità cui batte il cuore; conseguentemente, quando il tono vagale al pacemaker è basso, c'è poca o nessuna inibizione sulla frequenza del battito cardiaco (Porges, 2007). Il sistema nervoso autonomo è da considerarsi composto sia da vie afferenti, che trasmettono informazioni dagli organi viscerali verso il sistema nervoso centrale, sia dalle vie efferenti, che dalle specifiche strutture cerebrali interpretano il feedback afferente ed esercitano il loro controllo sugli organi viscerali interessati (Porges, 2003).

È stata scoperta di recente l'importanza che queste afferenze hanno soprattutto sulla regolazione dell'umore e degli affetti (Porges, 1995a; 2003). Grazie alla ricerca è stato possibile affermare che il nervo vago abbia un ruolo essenziale nella modulazione del funzionamento del cuore, svolgendo una funzione di rallentamento della frequenza cardiaca. Quando un individuo deve elaborare delle informazioni provenienti dall'esterno per reagire a determinati stimoli, le efferenze vagali si ritirano rapidamente, sopprimendo

l'aritmia sinusale cardiaca, e consentendo in questo modo un aumento della frequenza cardiaca, che permette la generazione di un output cognitivo o emotivo (Bell & Calkins, 2012). Porges (2001; 2003) chiama questa componente "freno vagale", ed è essenziale perché consente all'individuo di impegnarsi e disimpegnarsi rapidamente dato un certo stimolo e di promuovere comportamenti autoregolativi. In maniera rapida, esso inibisce l'eccitazione scatenata dal sistema nervoso simpatico, inducendo uno stato di calma che facilita l'impegno sociale; al contrario, quando si verificano condizioni percepite come minacciose, il rilascio del freno vagale consente al sistema simpatico di aumentare l'eccitazione e preparare l'individuo all'azione e a reazioni difensive (Hastings et al., 2008; Porges, 2001; 2007). In recenti studi di ricerca, sono state inoltre trovate prove del fatto che la corteccia prefrontale agisca con una funzione inversa rispetto all'azione dell'amigdala, che influenza a sua volta la frequenza cardiaca attraverso alcune strutture subcorticali e del tronco cerebrale che sono interconnesse. (Holzman & Bridgett, 2017; Thayer & Lane, 2000). Secondo il modello neuroviscerale proposto da Thayer, precedentemente menzionato, la struttura chiamata "rete autonoma centrale" ha il compito di regolare l'eccitazione fisiologica attraverso dei meccanismi inibitori che rispondono alle richieste che provengono dall'ambiente (Geisler et al., 2013). A livello strutturale, questa rete è composta da numerose aree cerebrali, quali corteccia prefrontale cingolata anteriore, insulare e ventromediale, nucleo centrale dell'amigdala, nuclei paraventricolari, nuclei ipotalamici, sostanza grigia periacqueduttale, nucleo parabrachiale, nucleo del tratto solitario, nucleo ambiguo, midollo ventrolaterale, midollo ventromediale e area tegmentale (Thayer & Lane, 2000). Dal punto di vista funzionale, tutte queste varie aree formano una rete di regolazione interna attraverso cui il cervello controlla le risposte visceromotorie e neuroendocrine, e che risulta quindi essenziale per la generazione di output comportamentali che consentano all'individuo un buon adattamento all'ambiente. L'output di questa rete autonoma centrale viene poi mediato dai neuroni postgangliari simpatici e parasimpatici, che innervano a loro volta il cuore attraverso il nervo vago. Sarebbe l'interazione di tutti questi input con il nodo senoatriale del cuore a originare la complessa variabilità rispetto alla frequenza cardiaca, per cui è possibile inferire che la rete autonoma centrale è direttamente correlata con la variabilità della frequenza cardiaca (HRV). Inoltre è emerso che la variabilità della frequenza cardiaca, che è mediata dal nervo vago, può valere come indice dell'autoregolazione di

tipo top-down, dal momento che la corteccia prefrontale può esercitare un'influenza inibitoria sulle strutture sottocorticali e influenzare quindi l'azione del vago sul cuore, oltre che essere un importante mezzo per studiare alcuni disturbi, tra cui quelli con problematiche legate all'attenzione, alle emozioni e all'affettività (Holzman & Bridgett, 2017; Thayer & Lane, 2000).

Il tono cardiaco vagale si riferisce quindi all'attività del nervo vago e regola i cambiamenti transitori che si verificano nella frequenza cardiaca come risposta a determinate situazioni o stimoli (Porges, 2003). Poiché le vie efferenti vagali verso il cuore hanno un effetto inibitorio sulla frequenza cardiaca, i cambiamenti che si verificano sul tono vagale possono influenzare i metodi di misura utilizzati per monitorare la variabilità della frequenza cardiaca. Le efferenze vagali mielinizzate, che formano sinapsi sul nodo senoatriale del cuore, seguono un ritmo respiratorio caratterizzato da un aumento e una diminuzione dell'attività cardioinibitoria attraverso il vago, questo produce un ritmo cardiaco chiamato aritmia sinusale respiratoria (RSA). Maggiore è questa influenza e maggiori saranno gli aumenti e le diminuzioni ritmiche di questo modello di frequenza cardiaca. L'ampiezza dell'RSA fornisce un indice sensibile dell'influenza che il vago mielinizzato ha sul muscolo cardiaco (Porges, 2003).

3.3.1 L'aritmia sinusale respiratoria

L'aritmia sinusale respiratoria è la variabilità della frequenza cardiaca in funzione della respirazione; le fibre efferenti del nervo vago si attivano ritmicamente con una frequenza simile a quella respiratoria in un modo per cui durante l'inspirazione si verifica il ritiro vagale ed un aumento della frequenza cardiaca, seguito da un aumento del tono vagale con un conseguente rallentamento della frequenza cardiaca durante l'espiazione (Galletly & Larsen, 1998; Porges, 1995a). È stata inoltre definita come un indice dei livelli di eccitazione che un soggetto può raggiungere in relazione alla sua reattività emotiva (Hastings et al., 2008). L'aritmia sinusale respiratoria riflette l'influenza del sistema nervoso parasimpatico attraverso il nervo vago, ed è considerata dunque una componente della variabilità della frequenza cardiaca (Calkins & Keane, 2004; Dollar et al., 2020). È stato dimostrato che l'RSA, in condizioni respiratorie di base, non è influenzata dalle variazioni dell'attività nervosa simpatica, e per questo è un indice della sensibilità del tono cardiaco vagale, anche quando le alterazioni del tono parasimpatico sono ridotte (Graziano et al., 2007).

Questa componente mostra importanti connessioni con la reattività e con la regolazione emotiva, e viene quindi abitualmente utilizzata come strumento per quantificare e valutare questi costrutti; inoltre, viene anche utilizzata nello studio di diverse dimensioni del funzionamento comportamentale nelle fasce di sviluppo più inferiori. Per esempio, è stato dimostrato che, nei bambini, un'alta aritmia sinusale respiratoria è indice di un buon funzionamento autonomo, associato ad una reattività emotiva appropriata e ad una buona capacità di attenzione (Calkins et al., 2007). Altri studi hanno messo in relazione, specialmente nelle fasi di sviluppo, l'aritmia sinusale respiratoria con i disturbi internalizzanti, e hanno dimostrato che quanto più questa presenta valori bassi, tanto più i suddetti disturbi hanno probabilità di manifestarsi (Hastings et al., 2008). La letteratura riporta inoltre che i bambini con aritmia sinusale respiratoria più elevata sono più espressivi e più reattivi emotivamente (Cole et al., 1996, citato in Porges, 2007); inoltre, con lo sviluppo, e quindi con le diverse nuove richieste sociali e l'affinazione delle abilità di autoregolazione emotiva, delle buone abilità reattive possono facilitare la concentrazione in momenti in cui l'attenzione è fondamentale (Bell & Calkins, 2012; Dollar et al., 2020). D'altra parte, la misura dell'aritmia sinusale respiratoria a riposo è un meccanismo fisiologico stabile che mostra la modalità con cui un certo individuo riesce a interagire con l'ambiente circostante e la sua capacità di essere flessibile nell'adattarsi allo stesso. Diversi studi hanno dimostrato, a supporto di questa tesi, che bambini d'età intorno ai due anni con un alto rischio di insorgenza di comportamenti esternalizzanti mostravano una minore diminuzione di aritmia sinusale respiratoria in risposta ad una certa sfida emotiva, mostrando un comportamento sostanzialmente più disregolato rispetto ai bambini con basso rischio per questi disturbi. Viceversa, come affermato precedentemente, valori più elevati in questa variabile sono risultati associati a migliori abilità nella regolazione delle proprie emozioni (Dollar et al., 2020). Quando il bambino deve svolgere dei compiti, o comunque affrontare una determinata situazione, è possibile notare come si verifichi una soppressione dell'aritmia sinusale respiratoria, mediata dal sistema nervoso parasimpatico, che può essere interpretata come una risposta fisiologica che gli consente di spostare l'attenzione dalle richieste omeostatiche interne a quelle che richiedono la generazione di strategie di coping per portare a termine il compito, cosa possibile grazie alla regolazione della propria eccitazione affettiva e comportamentale (Calkins & Keane, 2004). Avere la

capacità di regolare questa soppressione nell'età dello sviluppo è indice di molteplici fattori, tra cui una migliore autoregolazione, un maggior controllo dell'attenzione sostenuta, minori problemi comportamentali e una regolazione più adeguata delle emozioni. Viceversa, una carenza in queste abilità predice l'insorgenza di problematiche comportamentali precoci, in particolare inerenti al controllo vocale ed emotivo (Calkins & Keane, 2004).

3.4 Tono cardiaco vagale e autoregolazione

Il nervo vago acquisisce una forte rilevanza in studi e ricerche nel campo psicologico, in quanto esso risulta associato ad una moltitudine di aspetti psicofisiologici rilevanti, come la regolazione cognitiva, emotiva e sociale (Laborde et al., 2017). È infatti indice di una buona flessibilità autonoma, e in quanto tale è legato al concetto di benessere sociale e psicologico. Per di più, è possibile individuare una connessione tra tono vagale e diversi indici di benessere, per esempio l'emotività positiva, il comportamento prosociale, sentimenti empatici verso gli altri e buone strategie di coping. Gli individui che presentano valori maggiori di tono vagale sono anche soggetti che appaiono più gentili, dal temperamento più allegro e che affrontano in maniera più efficace lo stress in tutto l'arco di vita evolutivo (Kok & Fredrickson, 2010). Per riassumere con un punto di vista condiviso sia da Porges che da Thayer, autori che si sono occupati largamente di questo tema, è possibile affermare che il tono vagale riflette la capacità del sistema nervoso parasimpatico di adattarsi ai cambiamenti delle circostanze modificando i livelli di eccitazione, la respirazione, la frequenza cardiaca e l'attenzione (Porges, 1995b; Friedman & Thayer, 1998; citato in Kok & Fredrickson, 2010). Dalla letteratura scientifica presa in esame emerge che gli individui con alti livelli di tono vagale hanno capacità migliori di autoregolazione e di adattamento in diversi domini, tra i più importanti quelli riguardanti la flessibilità cognitiva, la memoria di lavoro, l'attenzione selettiva e le capacità di inibizione di risposte predominanti; viceversa, valori di tono vagale inferiori si associano ad una scarsa autoregolazione ed a una mancanza di flessibilità comportamentale (Kok & Fredrickson, 2010; Thayer & Lane, 2000). La flessibilità autonoma di questo sistema predice la capacità di sperimentare affetti positivi e una buona connessione sociale. Per tutte queste ragioni, il tono cardiaco vagale viene anche utilizzato come indice dello stress e della vulnerabilità allo stress nei

mammiferi, in quanto riflette l'attività del sistema nervoso parasimpatico, e in particolare del nervo vago, in quelle situazioni in cui i processi omeostatici vengono intaccati; infatti, un tono vagale depresso è riscontrabile in misurazioni di soggetti che sperimentano ansia e notevole stress (Porges, 1995a). Si può affermare dunque che soggetti che possiedono una migliore regolazione vagale mostreranno un adattamento notevolmente più agevole all'ambiente circostante: hanno infatti maggiori probabilità di far fronte in modo costruttivo allo stress, di utilizzare abitualmente strategie esecutive e di regolazione delle emozioni (Geisler et al., 2013). Diverse ricerche svolte sull'età evolutiva che si basano su queste assunzioni hanno dimostrato che valori più elevati di tono cardiaco vagale basale sono negativamente associati a comportamenti aggressivi, ostilità, sentimenti di rifiuto da parte di individui ansiosi, percezione di minore sicurezza nelle relazioni di attaccamento durante la giovinezza e a conflitto coniugale in età adulta. Risulta invece positivamente correlato al supporto sociale percepito, quindi all'idea di possedere o meno una rete sociale di cui fidarsi e a cui rivolgersi nei momenti di necessità e di bisogno (Beauchaine et al., 2007; Diamond & Hicks, 2005; Gazelle & Druhen, 2009; Schwerdtfeger & Schlagert, 2011; Sloan et al., 2001; Smith et al., 2011; citati in Geisler et al., 2013). Inoltre, sembra rilevante anche l'influenza genitoriale: è stato notato come una socializzazione da parte dei caregiver supportiva e reattiva, rispetto a una eccessivamente dura, punitiva e invadente, è associata ad una migliore autoregolazione da parte dei bambini e meno disturbi internalizzanti ed esternalizzanti; inoltre, i rapporti con le madri caratterizzati da coordinazione e sincronia sembrerebbero indicare un tono vagale più elevato nei loro figli, al contrario bambini che sono esposti a violenza coniugale o pratiche di controllo negativo (in particolare materno) risultano associati ad un livello basale di aritmia sinusale respiratoria inferiore, come anche ad una minore capacità di soppressione vagale. Una regolazione vagale quindi meno efficace e appropriata può essere ricondotta alla presenza di ambienti ostili e avversivi (Hastings et al., 2008).

Negli studi dedicati a questo tema, si è potuto osservare che nel momento in cui un determinato stimolo non sorprende o non è saliente per il soggetto, allora la frequenza cardiaca diminuisce progressivamente; viceversa, essa aumenterà quando si deve affrontare un compito mentale impegnativo o stressante (Bell & Calkins, 2012). Per questo motivo, le misurazioni cardiache che rispecchiano l'attività del sistema nervoso autonomo sono degli strumenti che vengono utilizzati nella ricerca per studiare

l'elaborazione cognitiva. In particolare, soprattutto durante l'età evolutiva, le variazioni della frequenza cardiaca basale sono associate a migliori prestazioni nell'attenzione e nei compiti di memoria. Il neuroscienziato statunitense Stephen Porges ha sviluppato nel corso dei suoi studi un metodo che misura la variabilità della frequenza cardiaca, ossia l'ampiezza e il periodo delle oscillazioni che si verificano tra un battito e quello successivo. Questa misura ha mostrato una forte relazione con alcuni fattori di adattamento nell'età evolutiva, in particolare con la competenza sociale, con la regolazione del comportamento, con le funzioni esecutive e infine con l'attenzione (Bell & Calkins, 2012; Calkins & Keane, 2004).

Le prime intuizioni e teorizzazioni sul rapporto tra il funzionamento del cuore e l'espressione delle emozioni è da attribuire a Charles Darwin, il quale riconobbe una stretta relazione tra il nervo vago e l'attività del sistema nervoso centrale, associata all'espressione delle emozioni. Secondo il biologo britannico, quando la mente è fortemente eccitata, questa attivazione causa l'accelerazione del battito cardiaco, che influisce in modo diretto con le aree cerebrali, che attraverso il vago influenzano a loro volta il cuore scatenando in questo modo un continuo condizionamento reciproco tra questi due organi. Quando si verificano dunque determinati stati emotivi, il battito del cuore cambia la sua frequenza in maniera istantanea, modificando l'attività cerebrale che a sua volta stimola il cuore, descrivendo un meccanismo davvero complesso (Porges, 1995a). Porges, con la teoria polivagale, cerca di approfondire il rapporto tra sistema nervoso autonomo e comportamento. Il prefisso "poli" vagale si riferisce al fatto che è necessario fare una distinzione tra i due rami del nervo vago, ognuno dei quali supporta strategie diverse, con l'obiettivo di assumere un comportamento adattivo, sia a livello neurofisiologico che neuroanatomico (Porges, 2001; 2003; 2007). La teoria ha proposto la presenza di tre circuiti neurali, che sono collegati a varie funzioni comportamentali; inoltre, sono coinvolti nel funzionamento del sistema nervoso autonomo durante la sua funzione di regolazione degli stati fisiologici; questi circuiti sono il vago non mielinizzato, il sistema simpatico-surrenale e il vago mielinizzato (Holzman & Bridgett, 2017; Porges, 2001; 2007). I primi due sono responsabili di due diverse risposte comportamentali che il soggetto mette in atto una volta che la situazione da affrontare viene valutata come pericolosa, e richiede dunque una risposta adattiva. Il vago non mielinizzato, chiamato anche "vegetativo", è responsabile dei comportamenti di freezing

o di immobilizzazione, che rappresentano tra l'altro la componente comportamentale più primitiva dal punto di vista filogenetico, che l'essere umano condivide con tutti gli altri vertebrati. Il sistema simpatico-surrenale, invece, è associato a risposte che prevedono una mobilitazione, in particolare alle risposte di attacco o fuga (fight or flight); infine, la componente del vago mielinizzato ha la funzione di ridurre la funzione dell'asse ipotalamo-ipofisi-surrene, promuovendo in questo modo un certo impegno sociale, possibile grazie a comportamenti più rilassati e razionali, quali l'ascolto, le vocalizzazioni o le espressioni facciali (Porges, 2001; 2007). L'evoluzione e lo sviluppo filogenetico hanno portato ad un aumento della complessità neurale nell'essere umano, permettendo al repertorio comportamentale ed affettivo di arricchirsi sempre di più con il fine di fornire risposte sempre più adeguate al contesto di vita dell'organismo, motivo per cui questi tre circuiti devono essere concettualizzati come dei sistemi dinamici e altamente complessi. Quando l'ambiente è percepito come sicuro, lo stato corporeo mantiene l'omeostasi viscerale che permette, per esempio, la crescita dell'individuo. Questo è possibile grazie ad un aumento dell'influenza delle vie motorie vagali mielinizzate sul pacemaker cardiaco, che sono responsabili di un rallentamento della frequenza cardiaca e dell'inibizione dunque di comportamenti di attacco-fuga da parte del sistema nervoso simpatico; di conseguenza, limita l'attivazione dell'asse ipotalamo-ipofisi-surrene riducendo lo stress e il rilascio di cortisolo (Porges, 2007). Si presume che gli esseri umani riescano a passare da un output comportamentale di tipo difensivo ad un comportamento di tipo sociale mediante l'inibizione delle risposte di attacco e fuga, che sono governate appunto dalle strutture cerebrali più primitive (Geisler et al., 2013). Inoltre, l'ordine filogenetico in cui sono comparsi questi circuiti neurali rappresenta una gerarchia di risposta nei mammiferi dove il circuito neurale dalle origini più recenti è quello che risponde per primo (Holzman & Bridgett, 2017; Porges, 2001; 2003; 2007). Questi complessi meccanismi vanno letti in un'ottica evuzionistica: il sistema nervoso (non solo degli umani, ma più in generale dei mammiferi) si è evoluto non solo per sopravvivere in ambienti sicuri, ma anche per cercare di adattarsi e sopravvivere anche in luoghi esposti a potenziali rischi e pericoli (Porges, 2003; 2007).

La teoria polivagale collega l'evoluzione del sistema nervoso autonomo ad una serie di fattori comportamentali: l'espressione emotiva, i gesti facciali, la comunicazione vocale, l'esperienza affettiva e il conseguente comportamento sociale. Pertanto, la teoria

può fornire una spiegazione plausibile circa l'insorgenza di diversi comportamenti e disturbi sociali, emotivi e comunicativi (Porges, 2003; 2007). Porges, nella sua concettualizzazione della teoria polivagale, mette in relazione la funzione neurale autonoma con il comportamento, basandosi su tre assunti. In primo luogo, egli sostiene che esistano diversi tipi di output comportamentale in base agli stati fisiologici: in questo modo a uno stato fisiologico caratterizzato dal ritiro vagale conseguono comportamenti di lotta o fuga. Viceversa, uno stato caratterizzato da una maggiore influenza vagale cardiaca porterebbe a comportamenti pro-sociali e di avvicinamento allo stimolo. In secondo luogo, secondo questa teoria, sono presenti delle relazioni strutturali e funzionali tra il controllo neurale dei muscoli striati del viso e i muscoli lisci dei visceri. Per entrare nel dettaglio di questa relazione tra corteccia e muscoli del viso, si noti per esempio che il sistema di coinvolgimento sociale regola i muscoli facciali per l'espressione delle emozioni, i muscoli dell'orecchio, l'apertura delle palpebre, i muscoli laringei e faringei o i muscoli della masticazione, ossia tutti muscoli che regolano l'impegno sociale e che modulano le caratteristiche sensoriali dell'ambiente (Porges, 2001). Dal punto di vista filogenetico, quando questi muscoli del viso e della testa sono emersi come strutture di impegno sociale, si è evoluta una nuova componente del sistema nervoso autonomo, ossia il vago mielinizzato, che è regolato dal nucleo ambiguo. Infine, la teoria propone l'esistenza di un meccanismo, che prende il nome di neurocezione, che avrebbe il compito di valutare se la situazione esterna sia pericolosa o meno, innescando quindi, o al contrario inibendo, delle strategie di difesa, mettendo in atto un comportamento di attacco o fuga o uno di avvicinamento e di impegno sociale, questo sulla base di una razionale valutazione (Porges, 2007). Quando il meccanismo della neurocezione è lesa o danneggiato potrebbe causare una reattività fisiologica non adattiva e l'assunzione di comportamenti difensivi tipici di alcuni disturbi psichiatrici, come i deficit sociali di autismo, ansia sociale o sindrome di Williams, o la paura, come nelle fobie e nel disturbo ossessivo-compulsivo (Porges, 2007).

La prospettiva polivagale, quindi, supporta l'idea che lo stato fisiologico di un organismo limiti di fatto la gamma del comportamento e dell'esperienza psicologica che può essere sperimentata. L'evoluzione del sistema nervoso determinerebbe quindi l'espressione emotiva, oltre che la qualità della comunicazione e la capacità di autoregolazione; a sua volta, un comportamento sociale positivo accompagnato da

supporto sociale e da stati affettivi positivi favoriscono la crescita e a salute; viceversa, deficit nel sistema di impegno sociale, il cui funzionamento è deputato al vago mielinizzato, comprometterebbero il comportamento sociale spontaneo, la consapevolezza sociale, l'espressività affettiva, la prosodia e lo sviluppo del linguaggio (Porges, 2001; 2003; 2007).

Riassumendo, in questo capitolo si è voluto illustrare come la variabilità della frequenza cardiaca, che rappresenta quindi il cambiamento che avviene nell'intervallo tra un battito cardiaco e quello successivo, fornisca notevoli informazioni riguardo al funzionamento del sistema nervoso parasimpatico, dal momento che attraverso la sua misurazione è possibile arrivare ad una stima anche del funzionamento del tono cardiaco vagale; esso, come precedentemente anticipato, corrisponde ad una componente fondamentale nei processi di autoregolazione emotiva, sociale e cognitiva, in particolare per le abilità della memoria di lavoro, l'efficienza cognitiva e il controllo inibitorio (Laborde et al., 2017; Scrimin et al., 2019). La sua misurazione, tra le altre cose, è ampiamente utilizzata per la sua semplicità di acquisizione ed elaborazione: la raccolta delle misurazioni appare comoda ed immediata e la strumentazione è relativamente economica, non invasiva e indolore (Laborde et al., 2017). Un indice specifico per poter stimare la variabilità della frequenza cardiaca, e di conseguenza avere un indice per il tono cardiaco vagale, è dato dal calcolo della radice quadrata media delle differenze tra gli intervalli dei battiti cardiaci. La letteratura riporta che alti livelli di tono vagale basale sono associati alla presenza di comportamento disinibito, assertività, empatia, capacità di affrontare nuove situazioni, socievolezza, reattività temperamentale, reattività alla frustrazione, attenzione sostenuta e competenza sociale (Calkins, 1997; Eisenberg et al., 1995, 1996; Fabes, Eisenberg, & Eisenbud, 1993; Fox, 1989; Fox & Field, 1989; Stifter & Jain, 1996; Suess et al., 1994; citati in Graziano et al., 2007). La regolazione del tono cardiaco vagale trova una correlazione positiva con lo sviluppo sociale: in particolare, sono state individuate due situazioni specifiche in cui questa regolazione svolge una funzione di fattore di protezione, ossia contro l'esternalizzazione di problemi associati in primo luogo ad un'accesa conflittualità tra genitori, e in secondo luogo a problemi di alcolismo sempre dei medesimi (Graziano et al., 2007).

Molti studi svolti sulla regolazione delle emozioni hanno avuto come focus la misurazione del tono cardiaco vagale a riposo, dando minor rilevanza al dato di

misurazione del tono vagale in situazioni di difficoltà per gli individui oggetto di esperimento. Stimoli sfidanti e percepiti come stressanti dall'individuo si associano infatti ad una soppressione dell'influenza vagale, che aumenta la frequenza cardiaca per permettere di far fronte alla situazione ambientale incontrata; questo ritiro del tono cardiaco vagale è risultato correlato ad una prestazione migliore durante le sfide ambientali di tipo sia emotivo che cognitivo (Scrimin et al., 2019). Tuttavia, un eccessivo ritiro vagale potrebbe riflettere la manifestazione di affetti negativi durante lo svolgimento di compiti sociali, come la sperimentazione di tristezza e rabbia, e anche per essere un tratto caratterizzante di bambini a rischio di problemi comportamentali (Calkins et al., 2007; Donzella et al., 2000; Scrimin et al., 2019).

Per concludere, ricollegandosi al modello ecologico dello sviluppo umano di Bronfenbrenner (1979), è interessante notare che recenti studi hanno rilevato la possibilità che alcuni fattori sociodemografici, come ad esempio lo status socioeconomico della famiglia di appartenenza, possano influenzare la relazione tra variabilità di frequenza cardiaca e autoregolazione. Secondo questa prospettiva, le condizioni ambientali stressanti, come vivere in contesti impoveriti, indirizzano l'individuo verso l'utilizzo di strategie regolatorie che siano adattive per quel determinato contesto. In questa ottica, i soggetti che vivono in ambienti impoveriti sono potenzialmente portati ad utilizzare strategie rapide ed orientate alla ricompensa per gestire i fattori di stress immediati in maniera più frequente rispetto all'utilizzo di strategie faticose e che siano orientate più sul futuro che sull'immediato presente (Holzman & Bridgett, 2017).

4 La Ricerca

4.1 Il progetto

Il presente lavoro di tesi si basa sullo studio denominato “*Regolazione emotiva, Ambiente e Benessere nella Scuola Primaria*”, condotto dal Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione (DPSS) dell’Università di Padova, in particolare da un gruppo interdisciplinare di psicologi e statistici e diretto dalla Dott.ssa Scrimin e dal Dott. Girardi, e sul quale si è incentrata la mia esperienza di tirocinio. Nello specifico, questo studio fa seguito al precedente progetto “*Tracing the Environment Determinants of the Development of Your Child (TEDDY Child)*” (Girardi et al., 2022; 2023; Lupo, 2022); questi studi avevano come obiettivo principale quello di indagare i possibili effetti delle sostanze perfluoroalchiliche sullo sviluppo infantile in diversi domini, tenendo conto sia delle variabili legate all’ambiente fisico sia a quelle dell’ambiente sociale e familiare. Tuttavia, si sono verificati alcuni limiti: innanzitutto la partecipazione alla ricerca è stata volontaria, e questo ha rappresentato un forte bias di selezione; inoltre è stato svolto online, a causa delle norme di prevenzione per Covid-19, in vigore nel periodo della raccolta dati, che ha quindi causato una sottorappresentazione delle madri straniere e delle madri con un basso livello di istruzione, oltre che aver predisposto ad una situazione tale per cui il setting non fosse pienamente controllato ed uniforme (Girardi et al., 2023). Per cercare di risolvere queste problematiche, il corrente studio ha cercato di reclutare un campione quanto più rappresentativo possibile, rivolgendosi a tutti i bambini frequentanti la classe terza di due scuole primarie nel comune di Lonigo. In una fase precedente alla raccolta dati, mediante la quale è stato poi possibile inferire le capacità delle funzioni esecutive, sono stati svolti dei laboratori dove sono state fornite ai bambini alcune soft skills per la regolazione delle emozioni, con l’obiettivo quindi di sensibilizzare la scuola sull’importanza di queste abilità.

4.2 Obiettivi specifici e ipotesi di ricerca

Come esposto nel Capitolo 1.3 e 2.4, è stato dimostrato dalla ricerca che entrare in contatto con PFAS può avere delle conseguenze sullo sviluppo fisico, neurologico, cognitivo e comportamentale, in particolar modo quando questo avviene durante i periodi

sensibili nelle prime fasi dello sviluppo. Infatti, l'esposizione a queste sostanze può causare danni al sistema nervoso in misura maggiore se avvenuta in utero o durante la prima infanzia rispetto ad altri momenti della vita (Fei & Olsen, 2011). La letteratura che ha approfondito questi temi, tuttavia, ad oggi non appare sufficientemente esaustiva, e i risultati nelle diverse ricerche non concordano sempre tra loro, mostrando come sia un campo ancora non sufficientemente approfondito e che richiede ulteriori sviluppi. Uno degli obiettivi di questo studio, pertanto, è stato quello di indagare se siano presenti correlazioni tra prestazioni nelle funzioni esecutive, tono cardiaco vagale e contaminazione da PFAS. I bambini dall'età di otto anni presi in esame, di fatto, durante i primi anni di vita si trovavano inseriti all'interno del territorio vicentino durante la contaminazione delle falde acquifere da parte dell'industria Miteni, e potrebbero essere entrati a contatto con le sostanze tramite il sangue materno attraverso il cordone ombelicale, l'allattamento o consumo di acqua e alimenti terminato lo svezzamento (Girardi & Merler, 2019). Pertanto, gli obiettivi di ricerca che questo studio si è prefissato sono stati:

- 1) Studiare se esista una relazione tra l'esposizione a PFAS (misurata attraverso alcuni indicatori quali allattamento, consumo di acqua di rubinetto e zona di residenza) nelle prime fasi di sviluppo, e la performance in un compito di attenzione e controllo inibitorio.
- 2) Studiare se esista una relazione tra l'esposizione a PFAS (misurata attraverso alcuni indicatori quali allattamento, consumo di acqua di rubinetto e zona di residenza) nelle prime fasi di sviluppo e il tono cardiaco vagale come indice di regolazione e adattamento all'ambiente.

Oltre all'indagine sulle influenze date dalle sostanze perfluoroalchiliche, la ricerca si è concentrata sui fattori ambientali, individuali e biologici, di fondamentale importanza in quanto svolgono l'importante funzione di dirigere le traiettorie evolutive nei vari percorsi tipici e atipici. A sostegno di ciò, diversi studiosi confermano che il funzionamento e lo sviluppo dei bambini sono largamente influenzati dalle continue interazioni tra le loro caratteristiche individuali e il loro ambiente fisico e socioemotivo (Girardi et al., 2023). Per misurare questi costrutti, sono stati coinvolti i genitori nella compilazione di un questionario, basato su alcune scale standardizzate validate a livello internazionale, che

hanno permesso appunto di indagare diverse aree relative al contesto di crescita dei bambini. Un secondo obiettivo è stato quello di sensibilizzare l'ambiente scolastico rispetto all'importanza che lo sviluppo emotivo ha sulle capacità di apprendimento e all'influenza che l'ambiente apporta sulle capacità di autoregolazione dei bambini. Per fare questo, sono stati condotti una serie di laboratori che avevano come scopo quello di fornire ai bambini degli strumenti per imparare a comprendere e a regolare le proprie emozioni.

4.3 Fasi del progetto

In una fase preliminare, è stata avanzata la proposta di questo progetto a diverse scuole nella provincia di Vicenza nelle zone più colpite dalla contaminazione delle acque da PFAS; hanno aderito due scuole primarie, rispettivamente quella di Lonigo e di Madonna (frazione del comune di Lonigo); sono stati presentati gli obiettivi generali di questo intervento ed è stato organizzato, infine, in base alle esigenze delle insegnanti, un calendario per i laboratori. In particolare, sono stati organizzati due incontri per ogni classe (in totale sette sezioni di cui sei dell'istituto di Lonigo e una della frazione di Madonna) dalla durata di un'ora e mezza ciascuno.

Durante i primi incontri con i bambini, svolti indicativamente dal mese di novembre a quello di dicembre 2022, io e la Dott.ssa Lupo abbiamo coinvolto i bambini in diverse attività; il racconto immaginario che abbiamo ideato da usare come pretesto per introdurre il tema dell'autoregolazione è stato quello di "Super Emozione", ovvero un supereroe in grado di riconoscere le emozioni proprie e quelle delle altre persone e di saperle infine anche regolare. I suoi super-poteri sono infatti delle strategie in grado di regolare le diverse emozioni. I bambini si sono dimostrati molto entusiasti e partecipi a questo racconto, permettendoci di affrontare questi importanti temi in maniera giocosa e interattiva. Per ogni classe sono stati organizzati due incontri dalla durata di 90 minuti circa. Durante il primo, abbiamo effettuato un'attività di conoscenza e presentazione reciproca, che potesse permetterci di entrare in relazione con i bambini: è stato chiesto loro di creare una maschera da supereroe sopra cui scrivere il proprio nome e il super-potere che desidererebbero. Partendo da noi stesse, abbiamo poi chiesto a turno ad ogni bambino di esporre il proprio lavoro artistico, presentando la loro scelta [Fig. 4.1].

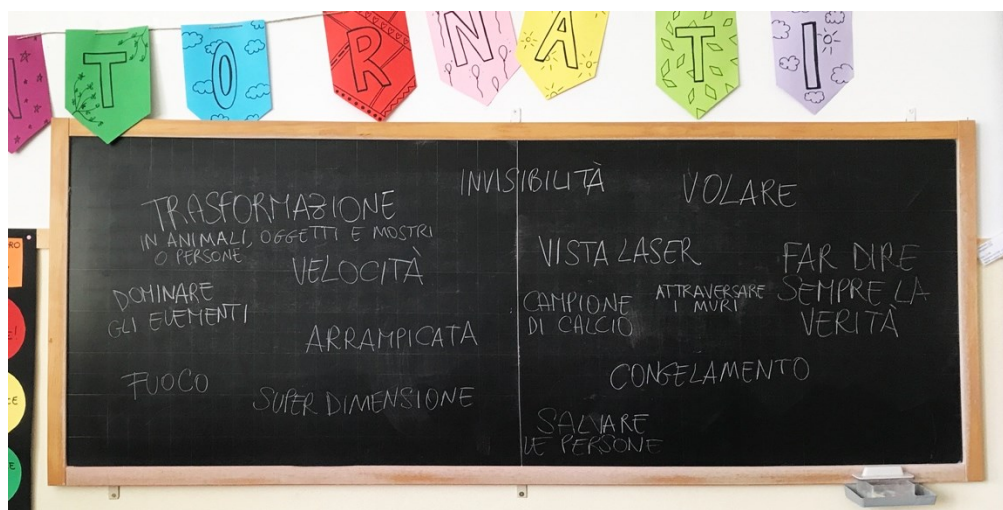


Figura 4.1 – Esempi di super-poteri scelti dagli studenti.

A questa rapida presentazione, seguiva il racconto di Super Emozione, utilizzato appunto come pretesto per spiegare ai bambini l'importanza, soprattutto nella vita quotidiana, di saper riconoscere le emozioni che si provano e quella di saperle successivamente regolare. Nel secondo incontro venivano affrontate una alla volta quattro emozioni di base: rabbia, tristezza, paura e gioia. Ad ognuna di queste è stato dedicato un dibattito interattivo con i bambini a cui veniva chiesto di individuare delle sensazioni corporee e delle espressioni facciali per imparare a riconoscere, anche negli altri, queste diverse emozioni. Per citare un esempio, quando è stata affrontata l'emozione della rabbia, i bambini, con il nostro supporto, hanno associato in relazione al linguaggio del corpo la presenza di fronte corrugata, denti digrignati, pugni serrati e rossore in viso; come sensazioni corporee, invece, un'accelerazione del battito cardiaco, un aumento della temperatura corporea, tensione muscolare e un istinto ad agire fisicamente o vocalmente. Dopo la presentazione di ogni emozione, seguiva una condivisione delle esperienze personali rispetto ai momenti della giornata e delle situazioni che innescano determinate sensazioni ed emozioni. È stato interessante notare come, a volte, questi bambini dall'età di otto anni confondessero una emozione con l'altra, ad esempio rabbia e tristezza, ed è stata fatta dunque chiarezza sulle differenze che le contraddistinguono.

Infine, per ogni emozione sono state fornite delle strategie, solitamente due per ogni emozione, per riuscire ad autoregolare il proprio stato: per regolare la rabbia è stato loro consigliato di concentrarsi sulla parte del corpo che sentono in tensione (braccia, gambe, mascella ecc....) e cercare di rilassarla, oppure di prendersi un momento e fare

degli esercizi di respirazione per riprendere il controllo della situazione; per l'euforia, le strategie sono state simili, ossia sempre incentrate sul rilassamento della tensione muscolare. Per la tristezza, le strategie prevedevano il pensiero positivo e impegnarsi in attività che arrechino piacere, anche e soprattutto fisiche. Infine, una prima strategia relativa all'emozione della paura è quella di cercare conforto fisico in una figura adulta, come un genitore o un'altra figura di cui ci si fida, e quando invece non è possibile rivolgersi a qualcuno, poiché ci si trova da soli, mettere in atto quello che abbiamo loro presentato come "l'auto-abbraccio", con qualcosa di morbido (un peluche o una coperta) che rimandino alla sensazione fisica di calore. Una delle attività più interessanti e meglio riuscite è risultata essere la seconda affrontata per la paura: ogni bambino è stato invitato a scrivere su un bigliettino, in maniera anonima, la paura che riteneva più grande; questi fogli sono stati successivamente accartocciati, simbolicamente "gettati via" dentro ad una scatola, e infine riaperti e letti alla classe [Fig. 4.2]; lo scopo di questa specifica attività era quello di confrontarsi sulle proprie paure, e, se possibile, trovare un modo per affrontarle. È stato possibile scoprire che a volte queste paure sono piuttosto comuni, o che altre volte non sono particolarmente razionali.

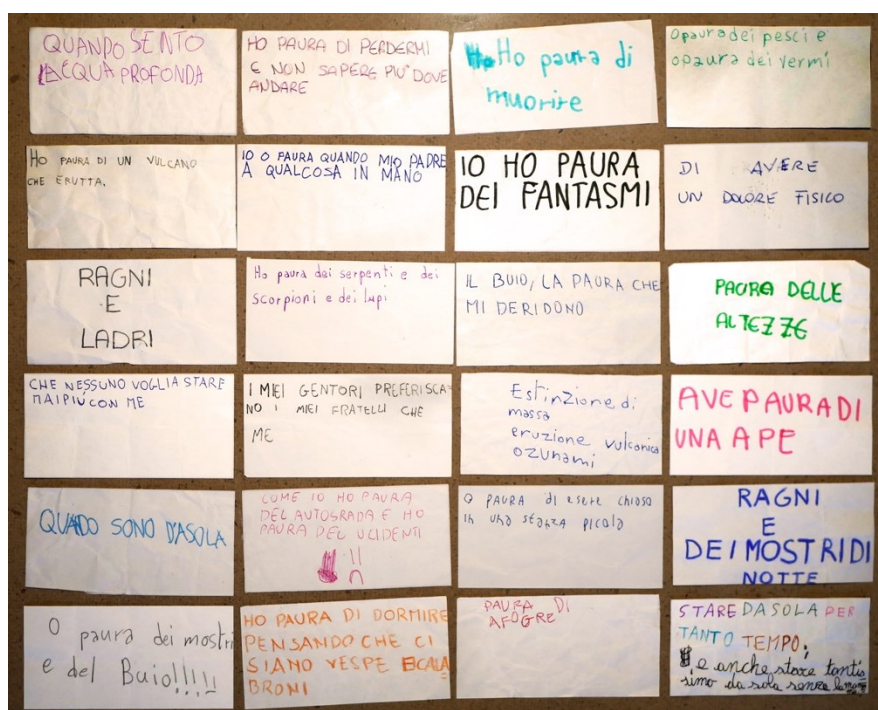


Figura 4.2 – Alcuni esempi di paure: di animali velenosi, dell'altezza, dell'acqua profonda, dei ladri, degli incidenti, di perdersi di restare soli, quando un genitore ha qualcosa in mano, che i genitori preferiscano i fratelli o di essere abbandonati.

Al termine dei due laboratori, è stato rilasciato ai bambini l'attestato di "Supereroe delle Emozioni" assieme ad un riassunto delle soft skills acquisite.

4.4 Partecipanti

I laboratori si sono rivolti a tutti i bambini delle sette classi, in quanto non era necessario il consenso da parte dei genitori; in tutto, in questa fase, hanno partecipato 139 bambini, residenti nel comune di Lonigo, regione che nella mappa di contaminazione da PFAS nella regione del Veneto è di colore rosso, e che si trova dunque nel plume di contaminazione delle acque sotterranee [Fig. 1.3]. Alla fine del primo incontro è stato consegnato ad ogni bambino il consenso informato da fare firmare ai genitori in vista della raccolta dati, che si sarebbe svolta al termine dei laboratori sulle emozioni. Di questo campione, hanno restituito il consenso firmato 116 bambini, a cui è stato poi consegnato un questionario da far compilare ad un genitore. È stato assegnato un codice alfanumerico strettamente personale, che è stato indicato ai genitori, in modo che il questionario potesse essere poi associato ai dati relativi alle funzioni esecutive del figlio. Infine, sono stati considerati solamente i questionari compilati interamente o comunque sopra ad una significativa percentuale, e sono stati quindi chiamati a partecipare in tutto 80 bambini. Nella Tabella 4.1 sono indicate le principali caratteristiche del campione emerse dalle prime analisi esplorative. Queste hanno studiato le principali variabili demografiche che fanno riferimento ai bambini e delle loro rispettive famiglie, acquisite grazie ai questionari compilati dai genitori. 70 di queste famiglie sono residenti nel comune di Lonigo, e le restanti ad Alonte, Serego, Val Liona e Veronella. Le famiglie sono composte da genitori con età media rispettivamente di 41 anni per le madri e 44 anni per i padri. Tutti i padri hanno un'occupazione, sia essa part-time o a tempo pieno; viceversa, il 79% delle madri ha un'occupazione, il 14% non è impiegata ma sta cercando un lavoro e infine il 7.5% non lo ha e non ne cerca uno. L'indagine sull'istruzione dei genitori riporta che 23 madri e 29 padri possiedono meno di un diploma superiore, 33 madri e 30 padri un diploma di scuola superiore e infine 24 madri e 21 padri una laurea. Il 92% dei bambini vive in una famiglia in cui sono presenti entrambi i genitori, mentre nel 7.5% dei casi i genitori si dichiarano single, separati o divorziati. La variabile inerente il reddito familiare, che ha permesso di inferire lo status socioeconomico, riporta che il 46,5% delle famiglie ha delle difficoltà ad arrivare a fine mese con il reddito a disposizione.

Tabella 4.1 – Principali variabili demografiche

Indici	M (DS)
Età madre	41.0 (5.1)
Età padre	44.1 (5.3)
Età bambino	7.98 (0.39)
Genere bambino	
Femmina	46 (58%)
Maschio	34 (43%)
Numero di figli	
1	12 (15%)
2	47 (59%)
3	21 (26%)
Occupazione madre	
Non impiegata, non in cerca di occupazione	6 (7.5%)
Non impiegata ma in cerca di occupazione	11 (14%)
Lavoro part-time	21 (26%)
Lavoro a tempo pieno	42 (53%)
Occupazione padre	
Non impiegato, non in cerca di occupazione	0 (0%)
Non impiegato ma in cerca di occupazione	0 (0%)
Lavoro part-time	1 (1.3%)
Lavoro a tempo pieno	79 (99%)
Educazione madre	
Meno di un diploma di scuola superiore	23 (29%)
Diploma di scuola superiore o equivalente	33 (41%)
Laurea triennale	9 (11%)
Laurea magistrale	14 (18%)
Dottorato o diploma di specializzazione	1 (1.3%)
Educazione padre	
Meno di un diploma di scuola superiore	29 (36%)
Diploma di scuola superiore o equivalente	30 (38%)
Laurea triennale	8 (10%)
Laurea magistrale	8 (10%)
Dottorato o diploma di specializzazione	5 (6.3%)
Nazionalità madre	
Italiana	56 (70%)
Straniera, nata in un paese appartenente all'Unione Europea	9 (11%)
Straniera, nata in un paese fuori dall'Unione Europea	15 (19%)

Nazionalità padre	
Italiana	66 (83%)
Straniera, nato in un paese appartenente all'Unione Europea	4 (5%)
Straniera, nato in un paese fuori dall'Unione Europea	10 (13%)
Stato civile	
Single	1 (1.3%)
Convivente	10 (13%)
Sposato/a	63 (79%)
Divorziato/a o Separato/a	6 (7.5%)
Capacità di arrivare a fine mese	
Con molta difficoltà	2 (2.5%)
Con difficoltà	8 (10%)
Con qualche difficoltà	27 (34%)
Abbastanza facilmente	23 (29%)
Facilmente	17 (21%)
Molto facilmente	3 (3.8%)
Disturbo diagnosticato	
No	72 (90%)
Sì	8 (10%)
Complicazioni in gravidanza	
No	61 (76%)
Sì	19 (24%)
Durata gravidanza	
7 mesi	1 (1.3%)
8 mesi	1 (1.3%)
9 mesi	63 (79%)
Più di 9 mesi	15 (19%)
Depressione post-parto	
No	75 (94%)
Sì	5 (6.3%)

L'80% delle gravidanze sono state a termine, il 19% sono state gravidanze protratte oltre i nove mesi e un solo bambino è nato pretermine a sette mesi di gravidanza. La maggior parte delle gravidanze (76%) sono state prive di complicazioni; viceversa, queste si sono verificate sia nella gravidanza terminata al settimo mese sia in quella terminata all'ottavo mese, nel 31.25% dei casi delle gravidanze terminate al nono mese e infine nel 15.38% dei casi delle gravidanze protratte oltre il termine. La depressione post-parto si è verificata solo per il 6.3% delle madri, e soprattutto nei casi di gravidanze con complicazioni. Si

vuole infine evidenziare la presenza di bambini con una diagnosi di disturbo, che corrisponde al 10% del campione, di cui il 20% sono stati bambini per cui si sono verificate complicazioni in gravidanza.

4.5 Strumenti di raccolta dei dati e misure utilizzate

4.5.1 Ambiente di sviluppo

Per indagare gli aspetti legati al contesto ambientale (ossia le variabili di controllo) che quindi possono aver influito sullo sviluppo, è stato realizzato un questionario self-report per i genitori, con domande a risposte singole o risposte multiple con scale likert, che permettessero di quantificare l'intensità della risposta. Sono state utilizzate come riferimento le procedure utilizzate anche nel precedente studio svolto da Girardi e colleghi (2023), e sono dunque state considerate le variabili sociodemografiche, come l'età, la nazionalità, lo stato civile dei genitori, il loro livello di scolarizzazione, l'impiego lavorativo e il reddito familiare. Per indagare, invece, le variabili relative alla funzione genitoriale, all'ambiente familiare e al benessere psicologico, sociale ed emotivo del bambino, sono stati inclusi diversi test standardizzati e validati a livello di ricerca internazionale:

- Parenting Stress Index-Short Form (PSI-SF), per misurare lo stress genitoriale, è costituito da 36 item e si costituisce di tre sottoscale: stress dei genitori, interazione disfunzionale tra genitore e figlio e la misura in cui il genitore definisce il proprio figlio "difficile";
- Alabama Parenting Questionnaire (APQ) per la valutazione degli stili genitoriali; è composto da 35 item che misurano il coinvolgimento dei genitori, il parenting positivo, il tipo di supervisione verso i figli (scarso monitoraggio), l'incoerenza nella disciplina e sulle punizioni fisiche corporali.

4.5.2 Esposizione a PFAS

Per misurare il livello di esposizione all'inquinamento da PFAS sono state utilizzate quattro variabili proxy, rispettivamente la residenza (se in Zona Rossa A o B), il tempo di residenza trascorso in questa zona (se da più o meno di dieci anni), la durata dell'allattamento al seno e il consumo di acqua dal rubinetto prima di venire a conoscenza della contaminazione delle falde.

4.5.3 Tono Cardiaco Vagale

Una volta che i genitori hanno firmato il consenso e compilato il questionario, l'attività di raccolta dei dati ha potuto prendere l'avvio: a turno, i bambini sono stati chiamati, nelle successive settimane rispetto ai laboratori, durante l'orario scolastico e condotti in un'aula messa a nostra disposizione, per la rilevazione del tono cardiaco vagale e per i test sulle funzioni esecutive. Durante le misurazioni e le somministrazioni delle prove, dalla durata totale media di 40 minuti, la stanza è rimasta sempre chiusa, al fine di limitare le interferenze provenienti dall'esterno e per facilitare in questo modo la concentrazione degli studenti. Per poter avere una misura dell'indice di regolazione fisiologica specifico per il tono cardiaco vagale a riposo e in situazioni di stress, è stata usata una fascetta posizionata sul torace del bambino, in modo tale da far aderire il POLAR H10 sulla pelle [Fig. 4.3].

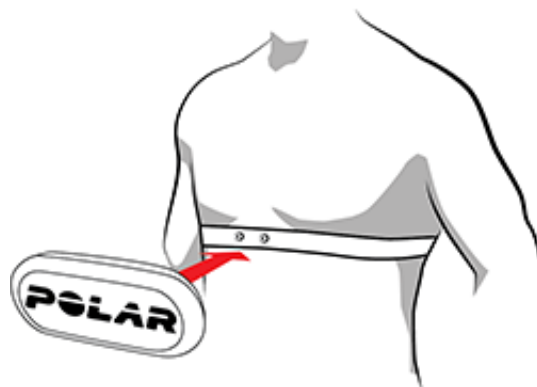


Figura 4.3

Quest'ultimo è uno strumento che codifica l'impulso cardiaco in tempo reale e lo trasmette ad un computer (ProComp, Infiniti, Thought Technology; Montreal, Canada) attraverso un sistema di monitoraggio multimodale. Il segnale ECG è processato a 12-bit e viene trasformato da analogico a digitale e poi convertito con un campionamento a 256 volt a secondo. Successivamente vengono calcolati gli intervalli interbattito, ovvero la differenza di tempo in millisecondi tra un picco R e un altro picco R grazie al software Kubios-HRV Analysis 2.2 (The Biomedical Signal Analysis Group, Department of Applied Physics, University of Kuopio, Finland).

Sono state calcolate anche le medie della frequenza cardiaca a riposo (HR) e le radici quadrate delle differenze tra intervalli successivi (rMSSD). Quest'ultime rappresentano un indice sensibile alle misurazioni del tono cardiaco vagale, poiché

rispecchiano direttamente l'attività parasimpatica che svolge il nervo vago. Per fare ciò è stato utilizzato un sistema di codifica computerizzato, il FlexComp Infiniti™ (Thought Technology Ltd, Montreal, Canada), approvato dalla "U.S. Food and Drug Administration" (FDA). Il segnale è stato preso in considerazione durante la visione del cartone animato neutro (baseline) per un tempo di circa cinque minuti e durante il video gioco sulla cooperazione con stress, entrambi della durata di circa tre minuti.

4.5.4 Funzioni Esecutive

Al termine della misurazione fisiologica, la fascetta con il sensore POLAR e il sensore venivano rimossi per svolgere i due test, che sono stati loro presentati come "giochi", uno al computer e l'altro con carta e penna. I test somministrati avevano lo scopo di valutare le funzioni esecutive:

- Compito Go/No Go: è stato utilizzato per le abilità di controllo inibitorio; per rendere il test saliente per i bambini sono stati usati, come stimoli, immagini di Pokémon, e veniva chiesto loro di premere un pulsante quanto più veloce possibile non appena ne comparisse uno sullo schermo, ma di non premere quello stesso pulsante, e quindi di inibire la risposta automatica, quando ne fosse comparso uno in particolare (Pikachu).
- Test delle Campanelle: per monitorare la capacità di attenzione selettiva e sostenuta: sono stati presentati quattro fogli al bambino, ognuno dei quali contenente molte figure rappresentanti diversi oggetti, e tra questi 35 campanelle. Il compito era di barrare con la penna ogni volta che si vedeva una campanella, e di farlo il più rapidamente possibile. Per il primo foglio, il tempo a disposizione era di 30 secondi, per il secondo 1 minuto, per il terzo 1 minuto e 30 secondi e per il quarto 2 minuti. Al termine della somministrazione si ottengono due punteggi: il punteggio "rapidità", ossia il numero di campanelle trovate in 30 secondi, e il punteggio "accuratezza", indicante le campanelle trovate in 2 minuti (Biancardi & Stoppa, 1997).

I tre test sono stati somministrati in ordine casuale al fine di evitare che le prestazioni fossero influenzati da questo fattore. Al termine dei test, è stato dato al bambino un "diploma di scienziato delle emozioni" con un riassunto delle attività svolte (visione del

cartone animato durante la registrazione fisiologica, Go/No-Go task e Test delle Campanelle), invitandolo a condividere con genitori quando svolto assieme a noi.

4.6 Analisi dei dati

Al termine della raccolta dati, è stata effettuata inizialmente una prima pulizia dei dati per rimuovere anomalie e per completare eventuali dati mancanti. Successivamente, sono state effettuate le analisi utilizzando il software RStudio. Per le analisi esplorative sono stati creati, a scopo illustrativo, istogrammi, boxplot, tabelle di frequenza, grafici a dispersione, grafici a barre. Successivamente abbiamo indagato la relazione tra esposizione a PFAS, attenzione, controllo inibitorio e tono cardiaco vagale attraverso una serie di analisi correlazionali.

5 Risultati

5.1 Analisi preliminari

Come prima cosa, abbiamo condotto una serie di analisi preliminari per comprendere la distribuzione dei dati di maggior rilievo. Una prima panoramica viene fornita sui principali risultati dei test misuranti le capacità attentive e il controllo inibitorio. Innanzitutto, la Figura 5.1 mostra la distribuzione dei punteggi rilevati durante il test delle Campanelle; in particolare, “rapidità” è l’indice di campanelle trovate quando il bambino aveva a disposizione trenta secondi mentre “accuratezza” indica le campanelle trovate in due minuti.

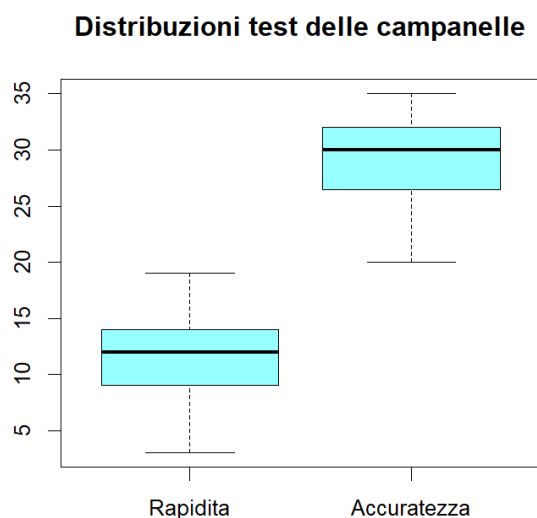


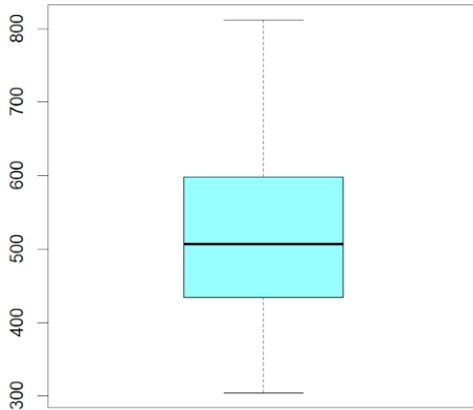
Figura 5.1

Le due variabili presentano una distribuzione simile ma centrata su valori diversi: la rapidità assume valori compresi tra 3 e 19 (che indicano il numero di simboli rappresentanti campanelle che sono state trovate dal bambino durante la prova) con media 11.25 ($DS = 3.42$), mentre l’accuratezza presenta valori compresi tra 20 e 35, con media pari a 29.05 ($DS = 3.30$), sapendo che in tutte le tavole somministrate, il numero massimo di Campanelle che era possibile trovare era pari a 35.

In relazione ai risultati ottenuti nel compito Go/No-Go, vengono rappresentati nei grafici sottostanti la media dei tempi di reazione con cui i bambini hanno saputo premere il pulsante al comparire dello stimolo (Fig. 5.2), e il totale delle risposte corrette

accumulate, quindi sia quando si è premuto il pulsante alla vista dello stimolo neutro, e sia la risposta inibitoria alla vista dello stimolo target (Fig. 5.3).

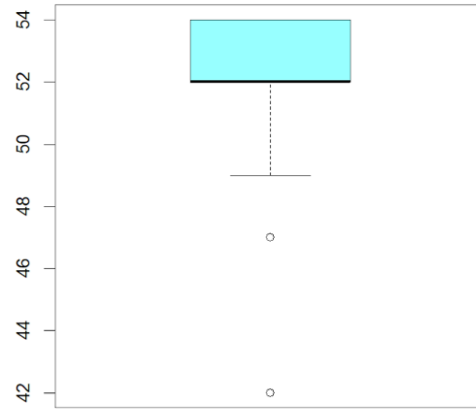
Distribuzione della media dei tempi di reazione



Media dei tempi di reazione

Figura 5.2

Distribuzione delle risposte corrette



Totale risposte corrette

Figura 5.3

La variabile che indaga i tempi di reazione assume valori compresi tra 304.3 ms e 811.9 ms con media pari a 526.8 ms ($DS = 110.83$); in particolare, la distribuzione è concentrata tra i valori 434.3 ms e 598.6 ms. Il numero totale di risposte corrette date dai bambini ha per media il valore 52.22 ($DS = 1.91$). Dal momento che la distribuzione può assumere valori da 0 ad un massimo di 54, il grafico a destra presenta una distribuzione concentrata intorno ai valori massimi.

Le misurazioni che hanno permesso di quantificare la variabilità di frequenza cardiaca, calcolate tramite l'indice rMSSD (ossia il calcolo delle radici quadrate delle differenze tra intervalli successivi), sono rappresentate nel grafico in Fig. 5.4.; il valore rMSSD minimo è pari a 13.78 e quello massimo (riconducibile al terzo outlier) a 163.23, mentre la maggior parte dei bambini ha un valore compreso tra 41.42 e 81.79, con una media di 66,05 ($DS = 31.89$).

Distribuzione della variabilità di frequenza cardiaca

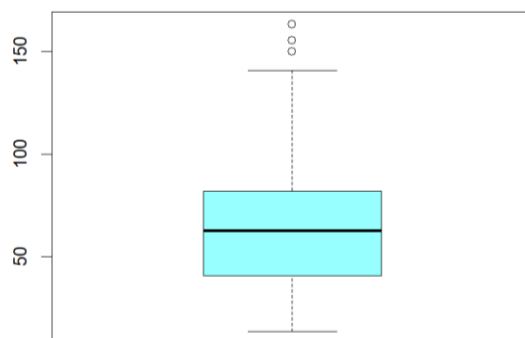


Figura 5.4

Per quanto concerne l'esposizione a PFAS, sulla base di un recente studio di Girardi e colleghi (2023) abbiamo considerato come fattori che indicano dell'esposizione alle sostanze prima di tutto l'assunzione, nel periodo interessato dalla contaminazione, di acqua di rubinetto nei residenti nelle zone contaminate (Zona Rossa), inoltre è stato chiesto se i bambini erano stati allattati al seno (ed eventuale durata dell'allattamento) e se avessero consumato prodotti da allevamento e agricoltura locale. Ciò è dovuto al fatto che non è stato possibile misurare direttamente le concentrazioni sieriche di PFAS nei soggetti. Nel questionario per i genitori, era stata infatti indicata la possibilità di inviare agli sperimentatori le informazioni sulle misure dei PFAS relative al piano di sorveglianza sanitaria della Regione Veneto, in forma anonima; tuttavia non ne è stata inoltrata alcuna. Nei grafici seguenti sono rappresentate le quattro variabili proxy prese in esame.

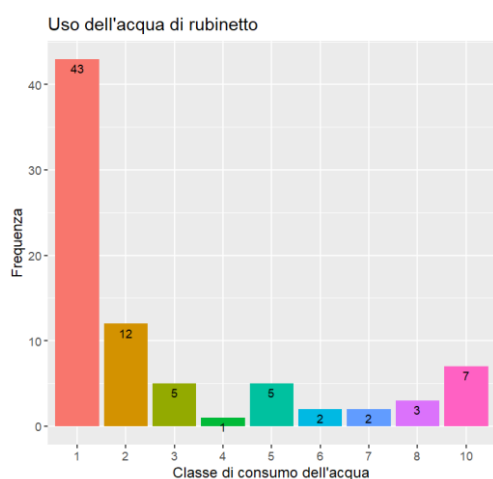


Figura 5.5

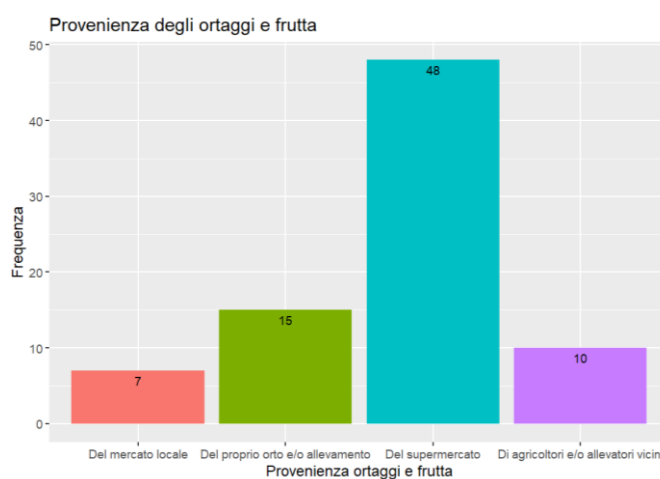


Figura 5.6

Dalla Figura 5.5 è possibile vedere la quantità di bambini che in famiglia faceva uso di acqua dal rubinetto prima che la popolazione fosse messa al corrente della contaminazione da PFAS. I valori sono posizionati in una scala continua da 1 a 10. Mentre la frequenza di chi faceva di acqua dal rubinetto si distribuisce tra valori da due a dieci, 43 soggetti dichiarano di non averne mai fatto uso. Nella Figura 5.6 sono invece indicate le frequenze che indicano la provenienza di frutta ed ortaggi che venivano acquistati delle famiglie prima di venire a conoscenza della contaminazione da PFAS nei cibi: 7 famiglie si recavano al mercato locale, 15 utilizzavano alimenti provenienti dal proprio orto, 10 li acquistavano da agricoltori locali e infine 48 famiglie compravano questi stessi prodotti presso supermercati e grande distribuzione.

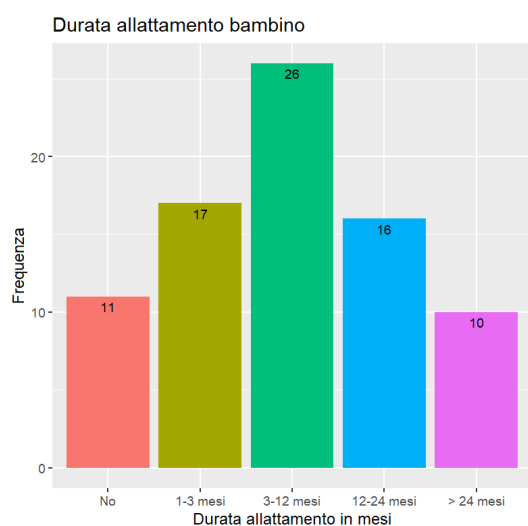


Figura 5.7

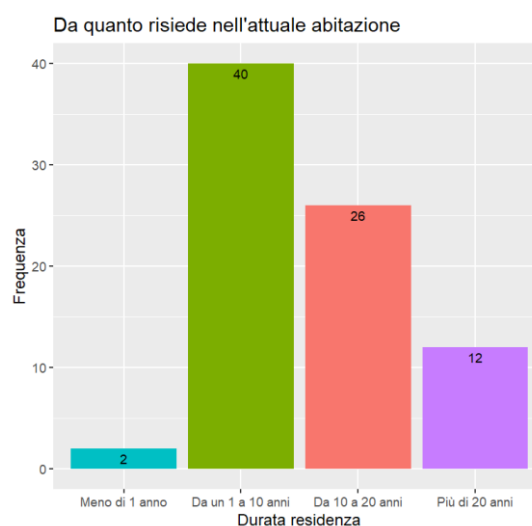


Figura 5.8

L'allattamento [Fig. 5.7] è un'importante variabile perché rappresenta il rischio del passaggio delle sostanze perfluoroalchiliche che vengono espulse dal corpo della madre per passare a quello al figlio. I dati riportano che i bambini allattati al seno da uno a tre mesi sono 17 (21,23%), quelli allattati da tre mesi a un anno sono 26 (32,5%), da un anno a due anni 16 (20%) e per più di due anni 10 bambini (12,5%). 11 bambini non sono stati allattati al seno (13,75%). L'ultima variabile che ha permesso di inferire il livello di contaminazione da PFAS in questi bambini è stata la durata di permanenza nella Zona Rossa fin dalla nascita [Fig. 5.8]. 42 famiglie risiedono nell'attuale abitazione da meno di dieci anni (di cui solamente 2 da meno di un solo anno, che sono state quindi aggregate alla categoria successiva), 26 famiglie da un periodo compreso tra dieci a vent'anni e 12 famiglie da più di vent'anni. Nella Tabella 5.1 sono indicate tutte variabili con le relative

frequenze e percentuali. Rispetto alla variabile “uso dell’acqua” le dieci categorie sono state raggruppate in due sottoinsiemi esemplificativi: la categoria che va da 1 a 5 è relativa ad un basso consumo di acqua da rubinetto, mentre la categoria 6-10 si riferisce ad un alto consumo della stessa. Per la stessa ragione, è stata creata una sola categoria che raggruppasse frutta e ortaggi coltivati nel territorio contaminato, quindi proveniente dal proprio orto, da agricoltori vicini e da mercati locali.

Indici	M (%)
Uso dell’acqua	
1-5	66 (83%)
6-10	14 (18%)
Provenienza di ortaggi e frutta	
Agricoltori locali o orto proprio	32 (40%)
Grande distribuzione	48 (60%)
Residenza	
Meno di 10 anni	42 (53%)
Da 10 a 20 anni	26 (33%)
Più di 20 anni	12 (15%)
Allattamento	
No	11 (14%)
1-3 mesi	17 (21%)
3-12 mesi	26 (33%)
12-24 mesi	16 (20%)
> 24 mesi	10 (13%)

Tabella 5.1: variabili relative a contaminazione da PFAS

5.2 Relazioni tra le variabili PFAS

Queste variabili relative al contatto con le sostanze perfluoroalchiliche sono state successivamente messe in relazione con i punteggi dei test sulle funzioni esecutive (attenzione e controllo inibitorio) e con la variabilità della frequenza cardiaca, calcolata tramite le radici quadrate delle differenze tra intervalli R-R successivi (rMSSD). Questo per studiare se gli PFAS correlassero con gli output cognitivi e fisiologici. Inoltre, sono stati esclusi dal campione due soggetti, che presentano casi in cui si sono verificate delle complicazioni in gravidanza e a cui è stato anche diagnosticato un disturbo; questo perché questi fattori, indipendentemente dal contatto con gli PFAS, potrebbero aver avuto delle

conseguenze sullo sviluppo del bambino. Nella Tabella 5.2 sono rappresentate le relazioni presenti tra le prestazioni nei diversi compiti e la consumazione di frutta e ortaggi prima che si sapesse della contaminazione da PFAS. Si ricorda che i primi due indici fanno riferimento ai risultati del test delle Campanelle, dove rispettivamente indice di rapidità è il punteggio ottenuto quando i bambini avevano 30 secondi a disposizione e indice di accuratezza quando invece avevano 2 minuti. “Media dei tempi di reazione” fa invece riferimento alla velocità con cui i bambini, durante il test Go/No-Go, premevano il pulsante al comparire nello stimolo, mentre “totale risposte corrette” indica invece, nel complesso, quanto sono stati in grado di inibire la risposta istintiva nel vedere lo stimolo target e invece di premere correttamente il pulsante quando necessario.

Tabella 5.2: Confronto tra i diversi indici considerati in relazione alla sorgente di alimentazione

Indici	Agricultori locali M (DS)	Grande distribuzione M (DS)	p-value
Rapidità	10.7 (3.6)	11.7 (3.3)	0.23
Accuratezza	29.1 (3.3)	29.0 (3.4)	0.81
Tempi di reazione	520 (97)	524 (117)	0.94
Risposte corrette	52.22 (1.72)	52.18 (2.08)	0.98
HRV	68 (31)	66 (32)	> 0.99

Per valutare la significatività è stato utilizzato il test di Kruskal-Wallis, che ha indagato la distribuzione dei dati nei diversi gruppi definiti dalle variabili di esposizione a PFAS. È possibile notare come la variabile alimenti non risulti essere significativa per nessuno dei test eseguiti. Osservando i p-value, l'indice di rapidità è quello maggiormente influenzato dalla provenienza degli alimenti, ma non in modo significativo, ossia non raggiunge il livello soglia di significatività ($p < 0.05$).

Tabella 5.3: Risultati inerenti alla variabile che indaga la durata dell'allattamento

Indici	Non allattati M (DS)	1-3 mesi M (DS)	3-12 mesi	12-24 mesi	> 24 mesi	p-value
Rapidità	12.8 (1.8)	11.6 (3.4)	11.4 (3.2)	10.1 (4.2)	10.7 (3.9)	0.48
Accuratezza	29.6 (2.2)	29.1 (2.8)	29.7 (3.0)	28.6 (4.2)	27.0 (4.2)	0.5
Tempi di reazione	513 (112)	501 (75)	504 (94)	570 (128)	540 (147)	0.51
Risposte corrette	51.4 (2.01)	51.81 (1.8)	52.69 (1.19)	51.88 (2.85)	52.89 (1.54)	0.12

HRV	79 (39)	77 (32)	66 (31)	59 (27)	56 (27)	0.28
-----	---------	---------	---------	---------	---------	------

Anche nel caso dell'allattamento [Tab. 5.3], la variabile non risulta essere significativa per nessuno degli indici. Tuttavia, il valore più influenzato dalla durata dell'allattamento, seppur non in maniera significativa, è il numero di risposte corrette al test Go/No-Go. Per valutare la significatività è stato usato anche in questo caso il test di Kruskal-Wallis.

I risultati mostrano che le relazioni tra test e la variabile relativa al consumo d'acqua dal rubinetto [Tab. 5.4] non raggiungono un livello di significatività accettabile ma, confrontando i p-value presenti in tabella, si nota comunque come sia presente una certa influenza sui risultati del test delle campanelle (indice di rapidità $p = 0.11$ e indice di accuratezza $p = 0.14$).

Tabella 5.4: Confronto tra i diversi indici considerati in relazione al consumo di acqua da rubinetto

Indici	1-5 (basso consumo)	6-10 (alto consumo)	p-value
	M (DS)	M (DS)	
Rapidità	11.6 (3.3)	9.7 (3.8)	0.11
Accuratezza	29.3 (3.2)	27.8 (3.6)	0.14
Tempi di reazione	522 (109)	521 (110)	0.96
Risposte corrette	52.08 (2.03)	52.77 (1.17)	0.23
HRV	67 (32)	70 (31)	0.72

Per valutare la significatività è stato usato invece il test di Wilcoxon, che studia la distribuzione dei dati all'interno dei ranghi. I grafici a dispersione in Figura 5.9 mostrano le variabili "rapidità" e "accuratezza" in relazione al consumo di acqua di rubinetto, ossia quelle che hanno mostrato significatività nella ricerca correlazionale. Non si notano particolari andamenti per i dei due gruppi. I valori minimi e massimi di rapidità sono stati raggiunti da bambini che usavano poco acqua di rubinetto, valori minimi di accuratezza sono stati raggiunti da bambini che usavano spesso acqua di rubinetto e infine i valori più elevati di accuratezza sono stati raggiunti da bambini che facevano poco uso di acqua del rubinetto.

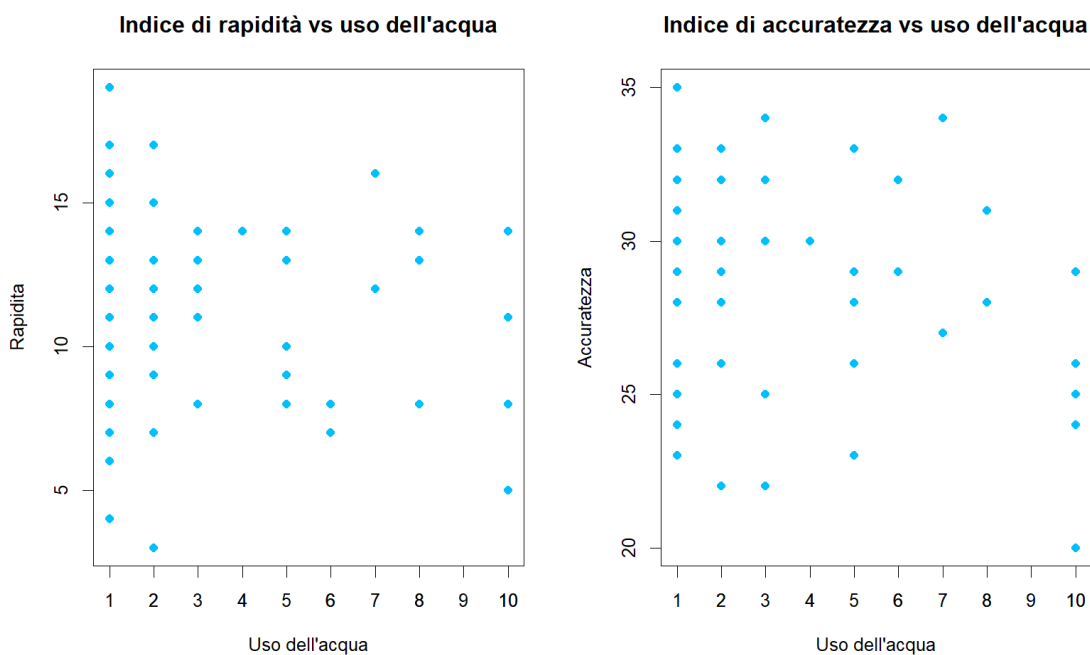


Figura 5.9

Tabella 5.5: Confronto tra i diversi indici considerati in relazione al tempo passato nella stessa residenza

Indici	Meno di 10 anni M (DS)	Da 10 a 20 anni M (DS)	Più di 20 anni M (DS)	p-value
Rapidità	10.1 (3.6)	12.4 (2.3)	12.8 (3.8)	0.01
Accuratezza	28.2 (3.4)	29.8 (2.6)	30.3 (3.9)	0.07
Tempi di reazione	532 (120)	520 (102)	493 (75)	0.75
Risposte corrette	52.20 (2.11)	52.04 (1.88)	52.50 (1.38)	0.78
HRV	70 (29)	70 (38)	52 (22)	0.15

Nella Tabella 5.5, si evidenzia un'importante influenza della durata di residenza in Zona Rossa rispetto alle variabili rapidità ($p = 0.01$) e accuratezza ($p = 0.07$). Sapere da quanto la famiglia risiede nella stessa abitazione è un'importante variabile di esposizione a PFAS, in quanto riassume complessivamente tutte le altre variabili che quantificano il contagio. Anche se la famiglia consumava acqua dalla bottiglia e acquistava frutta e ortaggi nei supermercati, è un rischio del tutto verosimile che il soggetto possa essere entrato comunque in contatto con le sostanze, per esempio attraverso i pasti la cui preparazione richiede l'utilizzo di acqua (come pasta, bordo o zuppe).

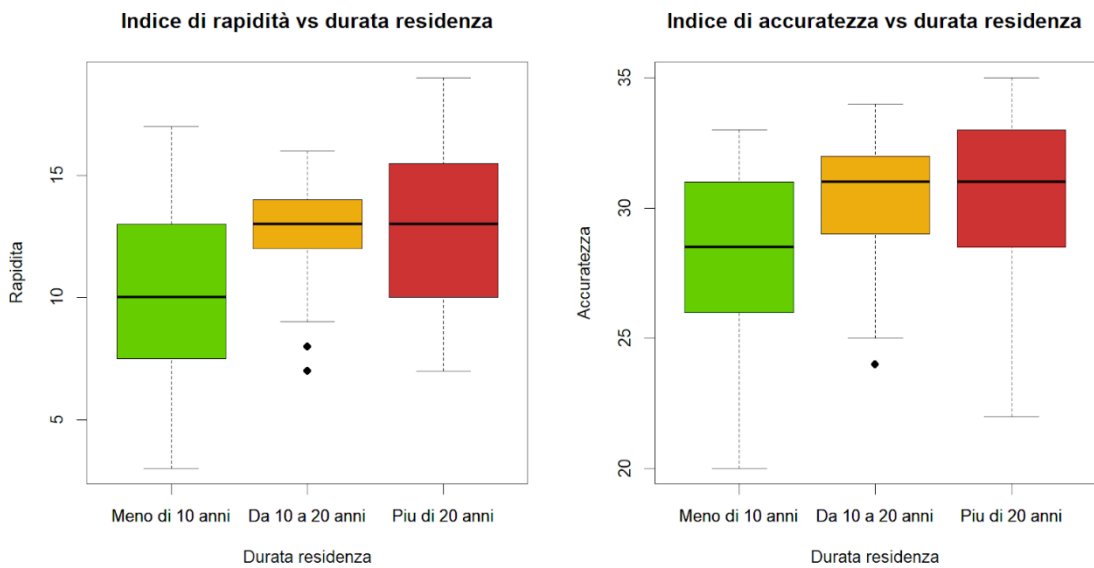


Figura 5.10

La Figura 5.10 mostra i boxplot relativi alle variabili rapidità (a sinistra) e accuratezza (a destra) posti in relazione con la durata della residenza. Secondo questi risultati, i bambini che sono residenti nella stessa abitazione da meno di dieci anni riportano valori di rapidità e accuratezza minori, mentre gli stessi valori in riferimento a bambini che hanno residenza maggiore di dieci anni risultano maggiori. Questo risultato particolare va all'opposto delle nostre aspettative di ricerca.

5.3 Relazioni tra le altre variabili ambientali

Sulla base delle teorie e dei modelli concettualizzati da Bronfenbrenner (1994) e da Belsky (1984) sono state prese in considerazione, per lo studio dei fattori che influenzano lo sviluppo in età evolutiva, alcune variabili che prescindono dal contatto con le sostanze perfluoroalchiliche ma che, come dimostrato dalla letteratura, sono fortemente impattanti per la crescita del bambino. In particolare, in questa sede sono stati considerati il livello di status economico e alcuni aspetti relativi alla genitorialità, ossia lo stress percepito e lo stile educativo da loro assunto. In Tabella 5.6 sono indicati i risultati inerenti alla prima categoria menzionata. Sebbene non emergano anche in questo caso dei risultati particolarmente significativi, osservando i p-value è comunque possibile notare, in riferimento al test Go/No-Go, che la relazione tra reddito familiare e tempi di reazione ($p = 0.18$) e totale delle risposte ($p = 0.14$) abbiano comunque una rilevanza, seppur debole.

Tabella 5.6: Risultati inerenti alla variabile che indaga lo status socioeconomico (con quanta difficoltà la famiglia arriva a fine mese)

Indici	Nessuna difficoltà M (DS)	Qualche difficoltà M (DS)	Molte difficoltà M (DS)	p-value
Rapidità	11.8 (4.2)	10.8 (3.3)	12.4 (2.5)	0.33
Accuratezza	29.3 (3.2)	29.0 (3.4)	28.9 (3.6)	0.91
Tempi di reazione	513 (111)	538 (113)	466 (54)	0.18
Risposte corrette	51.89 (1.79)	52.44 (1.96)	51.60 (2.01)	0.14
HRV	71 (34)	65 (33)	71 (14)	0.54

I boxplot presenti nella Figura 5.11 rappresentano invece le distribuzioni, e i relativi valori minimi e massimi, relative alle sottoscale del Parenting Stress Index, ossia Risposta difensiva del genitore, distress genitoriale, interazione disfunzionale con il figlio e misura in cui il genitore definisce il figlio “difficile”.

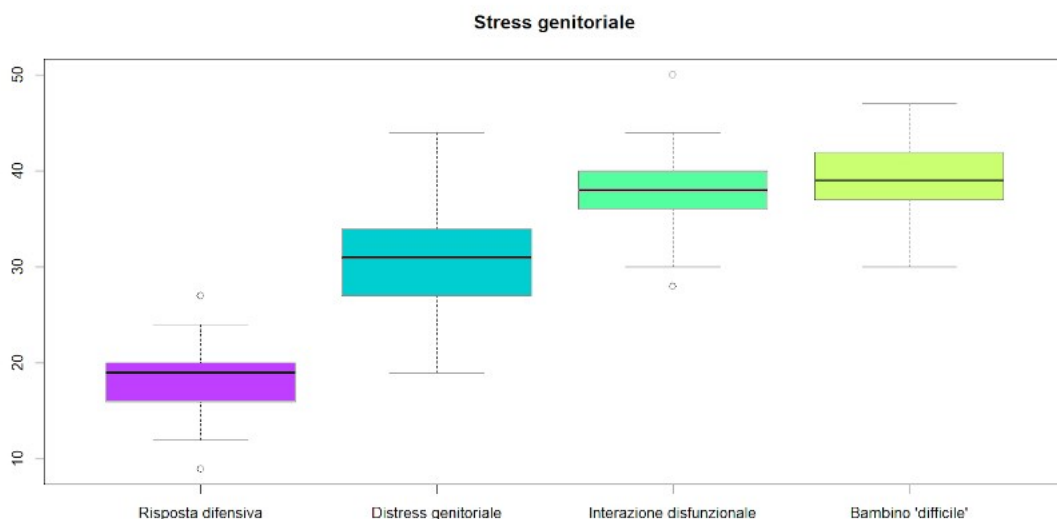


Figura 5.11

Le sottoscale delle variabili relative all'Alabama Parenting Questionnaire, ossia il coinvolgimento genitoriale, il parenting positivo, lo scarso monitoraggio, l'incoerenza della disciplina e le punizioni corporali, sono invece rappresentate nella Figura 5.12.

Sia nel caso delle scale per lo stress, sia in quello degli stili genitoriali, i boxplot non possono essere comparati tra di loro, in quanto ogni scala è stata ricavata dalla somma di un numero di item diversi.

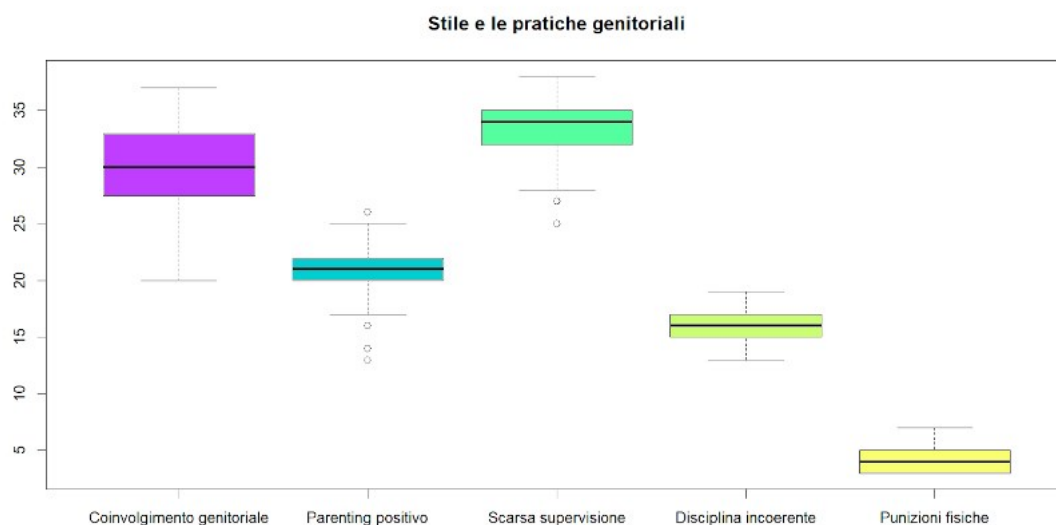


Figura 5.12

Il grafico sottostante [Fig. 5.13] rappresenta un diagramma di correlazione e mette in relazione le variabili che indagano tre fattori: lo stress genitoriale (Parenting Stress Index), i test somministrati bambini relativi alle funzioni esecutive e il tono cardiaco vagale. I valori contrassegnati dal colore indicano una relazione più forte tra gli item. È possibile notare che in questo caso le uniche correlazioni significative sono quelle tra le variabili dello stesso costrutto (stress genitoriale) in aggiunta le correlazioni tra le variabili del test campanelle (rapidità e accuratezza).

	Totale_risposte_corrette					
Media_dei_tempi_di_reazione						0.25
Variabilità_di_frequenza_cardiaca					0.08	-0.08
Indice_di_accuratezza				-0.1	0.03	0.17
Indice_di_rapidità		0.45		0.13	-0.19	-0.13
Bambino_percepito_difficile		-0.24	0.03	0.01	0.11	0.14
Interazione_disfunzionale		0.33	0.05	-0.06	0.13	0.1
Distress_genitoriale		0.41	0.2	0.12	0.03	-0.01
Risposta_difensiva		0.88	0.39	0.23	0.04	-0.03
				0.06	0.1	-0.22

Figura 5.13

		Totale_risposte_corrette				
	Media_dei_tempi_di_reazione	0.25				
	Variabilità_di_freq_cardiaca	0.08	-0.08			
	Indice_di_accuratezza	-0.1	0.03	0.17		
	Indice_di_rapidità	0.45	0.13	-0.19	-0.13	
	Punizioni_fisiche	0.07	0.05	-0.24	0.04	0.03
	Disciplina_incoerente	-0.34	-0.09	-0.11	0.14	0.02
	Scarsa_supervisione	0.18	-0.03	-0.09	-0.17	0.03
	Parenting_positivo	0.29	0.35	-0.04	-0.01	-0.13
	Coinvolgimento_genitoriale	0.5	0.27	0.22	-0.01	0.11
				-0.12	0.01	0.09
					-0.03	-0.03

Figura 5.14

Allo stesso modo è possibile interpretare la seconda rappresentazione grafica [Fig. 5.14], che mette in relazione le variabili che indagano sullo stile genitoriale (Alabama Parenting Questionnaire) con i test somministrati ai bambini; tra le correlazioni evidenziate, quelle più forti, anche se in misura non significativa, sono sempre inerenti scale appartenenti allo stesso costrutto, e quindi non degne di nota.

6 Discussione e Conclusioni

Il presente lavoro di Tesi si è posto l'obiettivo generale di indagare se esistesse una relazione tra l'esposizione a PFAS nelle prime fasi di sviluppo e la performance in alcuni compiti di attenzione e controllo inibitorio, oltre a quello di studiare un possibile legame tra l'esposizione a PFAS nelle medesime finestre temporali e il tono cardiaco vagale, considerato come indice di regolazione e adattamento all'ambiente messa in atto dai bambini. Nei prossimi sottocapitoli verranno presentati e discussi i risultati più rilevanti che sono emersi dalle analisi sui dati raccolti.

6.1 Relazioni tra funzioni esecutive e fattori connessi all'esposizione

La letteratura suggerisce che l'esposizione precoce alle sostanze PFAS possa concorrere in parte per l'insorgenza di alcuni disturbi del neurosviluppo, soprattutto se l'esposizione avviene nelle prime fasi dello sviluppo (Fei & Olsen, 2011). Sono state infatti trovate, dai diversi studi svolti in questi anni, associazioni tra il contatto con queste sostanze e problematiche del neurosviluppo, ad esempio la presenza di deficit di inibizione comportamentale, tratto che caratterizza in particolare il disturbo ADHD (Gump et al., 2011; Høyer et al., 2015). Viste queste premesse, il primo obiettivo di questa ricerca è stato quello di studiare la relazione tra esposizione a PFAS e i risultati di alcuni test che hanno misurato alcune funzioni esecutive di bambini di terza elementare. Questi soggetti, che oggi hanno per la maggior parte dei casi otto anni, sono bambini che prima della diffusione della notizia dell'inquinamento delle acque potrebbero aver ricevuto PFAS in utero attraverso la madre che viveva nella zona colpita, o comunque bambini che potrebbero essere stati allattati nei loro primi anni di vita, tutti fattori di rischio per il contatto precoce con le sostanze (Girardi et al., 2022; Pérez et al., 2013; Pitter et al., 2020). I risultati sono stati ottenuti mettendo in relazione i test effettuati (test Go/No-Go, test delle Campanelle e misurazione del tono cardiaco vagale) con le variabili proxy, ossia variabili che misurano indirettamente la contaminazione tra PFAS (durata della residenza in Zona Rossa, allattamento, provenienza di frutta e ortaggi e consumo di acqua dal rubinetto). Trattandosi di un campione di numerosità ridotta (n=80), non ci aspettavamo di trovare una rappresentatività significativa nelle correlazioni effettuate; tuttavia,

eravamo interessati a studiare la direzione che le relazioni tra le variabili avrebbero preso. Si nota, quindi come l'indice di rapidità nel test delle Campanelle sia in qualche misura influenzato dalla provenienza degli alimenti, dove migliori prestazioni si riferiscono a ortaggi e frutta provenienti dalla grande distribuzione. Parallelamente, la variabile "numero di risposte corrette" del test Go/No-Go risulta influenzato (non in maniera significativa) dalla durata dell'allattamento, anche se in questo caso i risultati vanno all'opposto delle nostre ipotesi: si nota infatti come all'aumentare della durata dell'allattamento, aumentano di media anche le risposte esatte nel test. I p-value relativi alla quantità di consumo di acqua dal rubinetto mostrano una certa influenza con i risultati del test delle campanelle; quindi, all'aumento del consumo di acqua si associa una prestazione inferiore al test. Per quanto riguarda invece i dati relativi al tempo di permanenza nella stessa abitazione, ciò che emerge è che la variabile ha delle importanti influenze sugli indici di rapidità e di accuratezza che tuttavia presentano un andamento opposto a quanto ipotizzato: le prestazioni sembrano infatti migliorare più aumenta la durata della residenza.

6.2 Relazione tra tono cardiaco vagale e variabili proxy

Studi effettuati sulle conseguenze dell'esposizione da PFAS sulla salute hanno riportato che se essa avviene nelle prime fasi dello sviluppo, in particolare in utero, può causare conseguenze sul piano fisico, neurologico, cognitive e comportamentale (Fei & Olsen, 2011). Dal momento che il tono cardiaco vagale, un fondamentale componente del sistema nervoso, ha una rilevante importanza nei processi di regolazione emotiva (Kok & Fredrickson, 2010; Laborde et al., 2017), il secondo obiettivo di questo studio era studiare se l'essere entrati a contatto con PFAS in queste prime fasi avesse avuto delle conseguenze sul funzionamento del tono cardiaco vagale, con successive conseguenze sulla regolazione del proprio stato. I risultati sono stati ottenuti mettendo in relazione la misura della variabilità della frequenza cardiaca (stimata attraverso le radici quadrate delle differenze tra intervalli successivi: rMSSD) dei bambini a riposo, e le variabili relative alla contaminazione da PFAS. Si riscontra un abbassamento del valore della variabilità di frequenza cardiaca all'aumentare del valore della variabile relativa alla durata della permanenza nella stessa residenza, anche se non in maniera significativa. Non si notano invece relazioni tra questa variabile e consumo di acqua da rubinetto e

derivazione di ortaggi e frutta prima di venire a conoscenza della contaminazione dell'acqua. Infine, si nota una relazione, anche se ancora una volta non molto significativa, tra variabilità di frequenza cardiaca e durata dell'allattamento, dove all'aumentare dei mesi diminuisce il valore rMSSD.

6.3 Relazioni tra test e variabili socioeconomiche

Nel primo capitolo, è stata ampiamente approfondita la visione ecologica dello Sviluppo di Bronfenbrenner, accanto al modello processuale delle determinanti della genitorialità di Belsky secondo cui il bambino cresce e si sviluppa all'interno di un contesto con cui interagisce continuamente, e che ha un'influenza altamente impattante su di lui (Belsky, 1984; Bronfenbrenner, 1979). Sulla base di ciò, per completare il quadro e indagare ulteriori fattori che possono aver influito sullo sviluppo cognitivo dei bambini, sono stati presi in considerazione due fattori in particolare, che fanno riferimento a questo modello, ossia il livello socioeconomico della famiglia e il benessere psicologico dei genitori. Quindi, gli stessi test che sono stati utilizzati per stimare le abilità cognitive dei bambini sono stati messi in relazione con le variabili relative allo status socioeconomico e quelle relative agli stili genitoriali (inferiti tramite l'Alabama Parenting Questionnaire) e al loro stress percepito (tramite Parenting Stress Index). Se da una parte sono infatti stati considerati fattori fisici dell'ambiente, come per l'appunto l'inquinamento delle acque da sostanze chimiche, appare rilevante considerare anche gli aspetti psicologici e sociali del contesto di crescita del bambino; in questo senso, lo status socioeconomico comporta una serie di conseguenze nella qualità della vita dei componenti della famiglia, e aspetti relativi al benessere psicologico dei genitori e alle loro pratiche educative ha una forte influenza sullo sviluppo dei figli. È stato dunque studiato se questi particolari fattori fossero correlati con le abilità cognitive dei bambini e con il loro tono cardiaco vagale. Non sono risultate relazioni significative, tuttavia è possibile notare una influenza sulle variabili relative al test di controllo inibitorio, in particolare con il totale delle risposte corrette, dove quindi più la fascia di reddito è bassa più le risposte esatte sono inferiori, e la relazione con i tempi di reazione, in cui una media di tempi di reazione più bassa si riferisce a più difficoltà economiche. Non emergono invece, da questo studio, relazioni significative tra i test e le variabili relative allo stress e agli stili genitoriali, inferite con i test Parenting Stress Index e Alabama Parenting Questionnaire.

6.4 Limiti dello studio

La ridotta numerosità del campione rappresenta certamente un grande limite di questo studio. Inizialmente, la proposta è stata fatta a diverse scuole del territorio di interesse, ma solamente la scuola di Lonigo e la sua frazione di Madonna hanno accettato di collaborare al progetto. Degli alunni di queste scuole, in totale 139 bambini, solamente 79 hanno effettivamente partecipato alla raccolta dati. Alcuni questionari compilati dai genitori non sono stati considerati validi perché la compilazione non superava una percentuale significativa, ed inoltre alcuni genitori non hanno indicato correttamente il codice alfa numerico associato al figlio, non rendendo possibile risalire a quale bambino includere nella ricerca. Inoltre, dal momento che non è stato possibile avvalersi di misurazioni dirette rispetto alle concentrazioni sieriche di PFAS, sono stati presi in considerazione alcune variabili connesse indirettamente alla contaminazione; tuttavia, dalle analisi esplorative sul campione è emerso che pochi bambini rientravano nelle categorie rappresentanti questo contagio da PFAS. Alla luce di questi fatti, questo è da considerarsi uno studio preliminare in previsione di ulteriori ricerche che abbiano un campione di numerosità molto più elevata. Per questa ragione, era prevedibile che le relazioni non raggiungessero i livelli soglia di significatività di p-value, ma il nostro obiettivo era comunque studiare le direzioni che le distribuzioni delle varie relazioni potessero assumere, così da avere una stima approssimativa dei risultati che si potranno ottenere con una numerosità maggiore.

6.5 Conclusioni e prospettive future

Gli studi che indagano le conseguenze delle sostanze perfluoroalchiliche sono ancora scarsi e spesso i loro risultati non coincidono (Liew et al., 2015; Lyall et al., 2018; Ode et al., 2014; Stein & Savitz, 2011), essendo questo un fenomeno giunto all'attenzione della comunità scientifica relativamente di recente. Il seguente lavoro di Tesi ha voluto, con il suo contributo, inserirsi all'interno di questa panoramica, nonostante la scarsità di numerosità del campione. Avendo succeduto precedenti ricerche relative al progetto TEDDY Child, ha cercato comunque di risolvere alcuni limiti, primo fra tutti il metodo di rilevamento delle abilità cognitive dei bambini. Nella precedente ricerca, infatti, è stato notato come molto spesso l'ansia esperita dei genitori, in particolari dalle madri, per il fatto di aver cresciuto un figlio in una zona che si è poi verificata contaminata, alterava i

risultati, e cioè la percezione del benessere del figlio secondo i caregiver. In questo studio, infatti, le domande presenti nei questionari, che sono stati consegnati e compilati dai genitori per la raccolta dei dati, hanno cercato infatti di porre delle domande quanto più generali possibili, con il tentativo di non condizionare il genitore a pensare alle possibili conseguenze che il contatto con PFAS possa aver avuto con i figli e invece di essere il più oggettivi possibile. Il progetto è stato infatti presentato come un'indagine su tutti i fattori ambientali che interagiscono nello sviluppo di crescita del bambino, e mai come indagante direttamente e solamente gli aspetti legati al PFAS che hanno colpito quel determinato territorio; sono stati infatti presi in considerazione per l'indagine aspetti legati al contesto ambientale del bambino e alla sua relazione con il caregiver. In particolare, abbiamo considerato, in base al reddito, l'appartenenza ad un dato livello di status socioeconomico e abbiamo stimato tramite il questionario raccolto ai genitori il loro stress percepito e inferito i loro stili genitoriali.

Per concludere, questo progetto, all'interno del quale ho svolto anche il mio tirocinio interno, è stato di grande arricchimento personale. Durante la prima fase in cui sono stati svolti i laboratori sulla regolazione emotiva abbiamo avuto modo di conoscere i bambini e di relazionarci con loro, i quali si sono mostrati fin da subito entusiasti e partecipi, insegnandoci a parlare nella loro lingua e a vedere le cose con una diversa prospettiva. C'è stata un'ottima collaborazione con le insegnanti, che ci hanno accolte e sono state sempre molto presenti, attente e partecipi durante i nostri interventi, sottolineandoci quanto sia utile per i bambini avere degli spazi in cui affrontare di queste tematiche, dal momento che spesso la parte emotiva viene trascurata o data per scontata. A questi bambini va un pensiero speciale: hanno saputo riempire le nostre mattinate di allegria e di profonda sincerità e, nonostante il poco tempo trascorso insieme, si sono aperti con noi al punto da mostrarci anche loro fragilità più nascoste. Questa Tesi non può che essere dedicata anche a loro, nella speranza che le ore passate assieme abbiano lasciato, seppur piccolo, un segno e un bel ricordo.

Bibliografia

- AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5* (5. ed). American Psychiatric Publishing.
- BACH, C. C., LIEW, Z., MATTHIESEN, N. B., HENRIKSEN, T. B., BECH, B. H., NØHR, E. A., BONEFELD-JØRGENSEN, E. C., & OLSEN, J. (2022). In utero exposure to perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances and attention and executive function in the offspring: A study in the Danish National Birth Cohort. *Environmental Research*, 212, 113262.
- BADDELEY, A. (1992). Working memory. *Science*, 255 (5044), 556-559.
- *BADDELEY, A. (1998). The central executive: A concept and some misconceptions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 4(5), 523-526.
- BAKER, D. P., & STEVENSON, D. L. (1986). Mothers' strategies for children's school achievement: Managing the transition to high school. *Sociology of education*, 156-166.
- BEAR, M. F., CONNORS, B. W., & PARADISO, M. A. (Eds.) (2016). *Neuroscience: Exploring the Brain* (4 ed.). Philadelphia, PA: Wolters Kluwer, 2016.
- *BEAUCHAINE, T. P., GATZKE-KOPP, L., & MEAD, H. K. (2007). Polyvagal theory and developmental psychopathology: Emotion dysregulation and conduct problems from preschool to adolescence. *Biological psychology*, 74(2), 174-184.
- BELL, M. A., & CALKINS, S.D. (2012). Attentional control and emotion regulation in early development. In M. Posner (Ed.), *Cognitive neuroscience of attention* (pp. 322-330). New York: Guilford Press.
- BELSKY, J. (1984). The determinants of parenting: A process model. *Child development*, 83-96.
- BERNSTON, G. G., QUIGLEY, K. S., & LOZANO, D. (2007). Cardiovascular psychophysiology. In *Handbook of psychophysiology* (pp. 182-211). Cambridge University Press.
- *BIANCARDI, A., & STOPPA, E. (1997). Il test delle Campanelle modificato: una proposta per lo studio dell'attenzione in età evolutiva. *Psichiatria dell'infanzia e dell'adolescenza*, 64(1), 73-84.
- BLAIR, B. L., PERRY, N. B., O'BRIEN, M., CALKINS, S. D., KEANE, S. P., & SHANAHAN, L. (2015). Identifying developmental cascades among differentiated dimensions of social competence and emotion regulation. *Developmental psychology*, 51(8), 1062.

- BOWLBY, J. (1969). Attachment and loss. New York: Basic Books.
- BOZZETTE, M. (2007). A review of research on premature infant-mother interaction. *Newborn and Infant Nursing Reviews*, 7(1), 49-55.
- BRADLEY, R. H. (2002). Environment and parenting. In M. H. Bornstein (Ed.), *Handbook of parenting: Biology and ecology of parenting* (pp. 281-314). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- BRONFENBRENNER, U. (1979). *The ecology of human development: Experiments by nature and design*. Harvard university press.
- BRONFENBRENNER, U. (1994). Ecological models of human development. *International encyclopedia of education*, 3(2), 37-43.
- BUCK, R. C., FRANKLIN, J., BERGER, U., CONDER, J. M., COUSINS, I. T., DE VOOGT, P., JENSEN, A. A., KANNAN, K., MABURY, S. A., & VAN LEEUWEN, S. P. (2011). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integrated environmental assessment and management*, 7(4), 513-541.
- *BUTENHOFF, J. L., EHRESMAN, D. J., CHANG, S. C., PARKER, G. A., & STUMP, D. G. (2009). Gestational and lactational exposure to potassium perfluorooctanesulfonate (K⁺ PFOS) in rats: developmental neurotoxicity. *Reproductive toxicology*, 27(3-4), 319-330.
- CALKINS, S. D. (1997). Cardiac vagal tone indices of temperamental reactivity and behavioral regulation in young children. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, 31(2), 125-135.
- CALKINS, S. D., & KEANE, S. P. (2004). Cardiac vagal regulation across the preschool period: Stability, continuity, and implications for childhood adjustment. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, 45(3), 101-112.
- CALKINS, S. D., GRAZIANO, P. A., & KEANE, S. P. (2007). Cardiac vagal regulation differentiates among children at risk for behavior problems. *Biological psychology*, 74(2), 144-153.
- CASSIDY, J., PARKE, R. D., BUTKOVSKY, L., & BRAUNGART, J. M. (1992). Family-peer connections: The roles of emotional expressiveness within the family and children's understanding of emotions. *Child development*, 63(3), 603-618.
- *COLE, P.M., ZAHN-WAXLER, C., FOX, N.A., USHER, B.A., & WELSH, J.D. (1996). Individual differences in emotion regulation and behavior problems in preschool children. *Journal of Abnormal Psychology* 105, 518-529.
- *COLEY, R. J. (2002). *An Uneven Start: Indicators of Inequality in School Readiness*. Princerton, NJ: Educational testing Service.

- *CONGER, R. D., & ELDER, G. H., JR. (1994). *Families in troubled times*. New York: Aldine de Gruyter.
- DI VARA, S., VALERI, G., VICARI, S. (2017). Le funzioni esecutive. In Vicari, S., & Caselli, M.C. (anche qui va in maiuscoletto?), *Neuropsicologia dell'età evolutiva* (pp. 203-212). Il Mulino.
- *DIAMOND, L. M., & HICKS, A. M. (2005). Attachment style, current relationship security, and negative emotions: The mediating role of physiological regulation. *Journal of Social and Personal Relationships*, 22(4), 499-518.
- *DOLINOY, D. C., WEIDMAN, J. R., & JIRTLE, R. L. (2007). Epigenetic gene regulation: linking early developmental environment to adult disease. *Reproductive toxicology*, 23(3), 297-307.
- DOLLAR, J. M., CALKINS, S. D., BERRY, N. T., PERRY, N. B., KEANE, S. P., SHANAHAN, L., & WIDEMAN, L. (2020). Developmental patterns of respiratory sinus arrhythmia from toddlerhood to adolescence. *Developmental Psychology*, 56(4), 783.
- DOMINGO, J. L., & NADAL, M. (2019). Human exposure to per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) through drinking water: A review of the recent scientific literature. *Environmental research*, 177, 108648.
- DONZELLA, B., GUNNAR, M. R., KRUEGER, W. K., & ALWIN, J. (2000). Cortisol and vagal tone responses to competitive challenge in preschoolers: Associations with temperament. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, 37(4), 209-220.
- *EISENBERG, N., FABES, R. A., MURPHY, B., MASZK, P., SMITH, M., & KARBON, M. (1995). The role of emotionality and regulation in children's social functioning: A longitudinal study. *Child development*, 66(5), 1360-1384.
- EISENBERG, N., FABES, R. A., NYMAN, M., BERNZWEIG, J., & PINUELAS, A. (1994). The relations of emotionality and regulation to children's anger-related reactions. *Child development*, 65(1), 109-128.
- *EISENBERG, N., FABES, R., KARBON, M., MURPHY, B., WOSINSKI, M., POLAZZI, L., CARLO, G., & JUHNKE, C. (1996). The relations of children's dispositional prosocial behavior to emotionality, regulation, and social functioning. *Child Development*, 67(3), 974-992.
- ELLIOTT, R. (2003). Executive functions and their disorders: Imaging in clinical neuroscience. *British medical bulletin*, 65(1), 49-59.
- EVANS, G. W. (2004). The environment of childhood poverty. *American psychologist*, 59(2), 77.
- *EVANS, G. W., MAXWELL, L. E., & HART, B. (1999). Parental language and verbal responsiveness to children in crowded homes. *Developmental psychology*, 35(4), 1020.

- *FABES, R. A., EISENBERG, N., & EISENBUD, L. (1993). Behavioral and physiological correlates of children's reactions to others in distress. *Developmental psychology, 29*(4), 655-663.
- FEI, C., & OLSEN, J. (2011). Prenatal exposure to perfluorinated chemicals and behavioral or coordination problems at age 7 years. *Environmental health perspectives, 119*(4), 573-578.
- *FOX, N. A. (1989). Psychophysiological correlates of emotional reactivity during the first year of life. *Developmental psychology, 25*(3), 364-372.
- *FOX, N. A., & FIELD, T. M. (1989). Individual differences in preschool entry behavior. *Journal of Applied Developmental Psychology, 10*(4), 527-540.
- FRANKEL, L. A., HUGHES, S. O., O'CONNOR, T. M., POWER, T. G., FISHER, J. O., & HAZEN, N. L. (2012). Parental influences on children's self-regulation of energy intake: Insights from developmental literature on emotion regulation. *Journal of obesity, 2012*.
- *FRIEDMAN, B. H., & THAYER, J. F. (1998). Anxiety and autonomic flexibility: a cardiovascular approach. *Biological psychology, 47*(3), 243-263.
- *FURSTENBERG, F. F., COOK, T. D., ECCLES, J., ELDER JR, G. H., & SAMEROFF, A. (1999). *Managing to make it: urban families and adolescent success*. Chicago: University of Chicago Press.
- GALLETLY, D. C., & LARSEN, P. D. (1998). Relationship between cardioventilatory coupling and respiratory sinus arrhythmia. *British Journal of Anaesthesia, 80*(2), 164-168.
- *GALLIMORE, R., WEISNER, T. S., KAUFMAN, S. Z., & BERNHEIMER, L. P. (1989). The social construction of ecocultural niches: Family accommodation of developmentally delayed children. *American Journal on Mental Retardation, 94*, 216-230.
- GAMBINI, P. (2007). *Psicologia della famiglia. La prospettiva sistemico-relazionale* (Vol. 10). FrancoAngeli.
- *GARBARINO, J. (1982). *Children and families in the social environment*. Hawthone, NY: Aldine.
- *GAZELLE, H., & DRUHEN, M. J. (2009). Anxious solitude and peer exclusion predict social helplessness, upset affect, and vagal regulation in response to behavioral rejection by a friend. *Developmental Psychology, 45*(4), 1077-1096.
- GEISLER, F. C., KUBIAK, T., SIEWERT, K., & WEBER, H. (2013). Cardiac vagal tone is associated with social engagement and self-regulation. *Biological psychology, 93*(2), 279-286.

- *GILMORE, S. K. (1973). *The counselor-in-training*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- GIRARDI, P., & MERLER, E. (2017). Valutazione degli effetti a lungo termine sulla salute dei dipendenti di un'azienda chimica che ha prodotto intermedi per l'industria agro-alimentare, l'industria Farmaceutica e Derivati Perfluorurati (PFOA, PFOS). *Ulss 6 Euganea*.
- GIRARDI, P., & MERLER, E. (2019). A mortality study on male subjects exposed to polyfluoroalkyl acids with high internal dose of perfluorooctanoic acid. *Environmental research*, 179, 108743.
- GIRARDI, P., LUPO, A., MASTROMATTEO, L. Y., & SCRIMIN, S. (2022). Mothers living with contamination of perfluoroalkyl substances: an assessment of the perceived health risk and self-reported diseases. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(40), 60491-60507.
- GIRARDI, P., LUPO, A., MASTROMATTEO, L. Y., & SCRIMIN, S. (2023). Behavioral outcomes and exposure to perfluoroalkyl substances among children aged 6–13 years: The TEDDY child study. *Environmental Research*, 116049.
- GOLDSTEIN, S., NAGLIERI, J.A., PRINCIOTTA, D. E OTERO, T.M. (2014), Introduction: A history of executive functioning as a theoretical and clinical construct, in *Handbook of Executive Functioning* (pp. 3-12), New York, Springer.
- GRAZIANO, P. A., KEANE, S. P., & CALKINS, S. D. (2007). Cardiac vagal regulation and early peer status. *Child development*, 78(1), 264-278.
- GROSS, J. J. (2002). Emotion regulation: Affective, cognitive, and social consequences. *Psychophysiology*, 39(3), 281-291.
- GROSS, J. J., & MUÑOZ, R. F. (1995). Emotion regulation and mental health. *Clinical psychology: Science and practice*, 2(2), 151.
- GUMP, B. B., WU, Q., DUMAS, A. K., & KANNAN, K. (2011). Perfluorochemical (PFC) exposure in children: associations with impaired response inhibition. *Environmental science & technology*, 45(19), 8151-8159.
- HARKNESS, S., & SUPER, C. M. (2002). Culture and parenting. In M. H. Bornstein (Ed.), *Handbook of parenting: Biology and ecology of parenting* (pp. 253-280). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- HARRIS, M. H., OKEN, E., RIFAS-SHIMAN, S. L., CALAFAT, A. M., BELLINGER, D. C., WEBSTER, T. F., WHITE, R. F., & SAGIV, S. K. (2021). Prenatal and childhood exposure to per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and child executive function and behavioral problems. *Environmental Research*, 202, 111621.
- HASTINGS, P. D., NUSELOVICI, J. N., UTENDALE, W. T., COUTYA, J., MCSHANE, K. E., & SULLIVAN, C. (2008). Applying the polyvagal theory to children's emotion

- regulation: Social context, socialization, and adjustment. *Biological psychology*, 79(3), 299-306.
- HOFMANN, W., SCHMEICHEL, B. J., & BADDELEY, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in cognitive sciences*, 16(3), 174-180.
- HOLZMAN, J. B., & BRIDGETT, D. J. (2017). Heart rate variability indices as bio-markers of top-down self-regulatory mechanisms: A meta-analytic review. *Neuroscience & biobehavioral reviews*, 74, 233-255.
- HOREL, S. (2023, February 23). Revealed: The massive contamination of Europe by PFAS 'forever chemicals'. *Le Monde*. Retrieved from https://www.lemonde.fr/en/les-decodeurs/article/2023/02/23/revealed-the-massive-contamination-of-europe-by-pfas-forever-chemicals_6016906_8.html
- HØYER, B. B., RAMLAU-HANSEN, C. H., OBEL, C., PEDERSEN, H. S., HERNIK, A., OGNIEV, V., JØNSSON, B. A., LINDH, C. H., RYLANDER, L., RIGNELL-HYDBOM, A., BONDE J. P., & TOFT, G. (2015). Pregnancy serum concentrations of perfluorinated alkyl substances and offspring behaviour and motor development at age 5–9 years—a prospective study. *Environmental health*, 14(1), 1-11.
- INGELIDO, A. M., ABBALLE, A., GEMMA, S., DELLATTE, E., IACOVELLA, N., DE ANGELIS, G., ZAMPAGLIONI, F., MARRA, V., MINIERO, R., VALENTINI, S., RUSSO, F., VAZZOLER, M., TESTAI, E., & DE FELIP, E. (2018). Biomonitoring of perfluorinated compounds in adults exposed to contaminated drinking water in the Veneto Region, Italy. *Environment international*, 110, 149-159.
- *JOHANSSON, N., ERIKSSON, P., & VIBERG, H. (2009). Neonatal exposure to PFOS and PFOA in mice results in changes in proteins which are important for neuronal growth and synaptogenesis in the developing brain. *Toxicological Sciences*, 108(2), 412-418.
- *JOHANSSON, N., FREDRIKSSON, A., & ERIKSSON, P. (2008). Neonatal exposure to perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) causes neurobehavioural defects in adult mice. *Neurotoxicology*, 29(1), 160-169.
- KARMILOFF-SMITH, A. (1998). Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in cognitive sciences*, 2(10), 389-398.
- KOK, B. E., & FREDRICKSON, B. L. (2010). Upward spirals of the heart: Autonomic flexibility, as indexed by vagal tone, reciprocally and prospectively predicts positive emotions and social connectedness. *Biological psychology*, 85(3), 432-436.
- LABORDE, S., MOSLEY, E., & THAYER, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research—recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in psychology*, 8, 213.

- *LARSON, R. W., & VERMA, S. (1999). How children and adolescents spend time across the world: Work, play, and developmental opportunities. *Psychological bulletin*, 125(6), 701-736.
- LEVENTHAL, T., & BROOKS-GUNN, J. (2000). The neighborhoods they live in: the effects of neighborhood residence on child and adolescent outcomes. *Psychological bulletin*, 126(2), 309.
- LEWIN, K. (1935). *A dynamic theory of personality: Selected papers*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- *LEWIS, R. A., & SPANIER, G. (1979). Theorizing about the quality and stability of marriage. In W. R. Burr (Ed.), *Contemporary theories about the family* (pp. 268-294). New York: Free Press.
- LEZAK, M. D., HOWIESON, D. B., LORING, D. W., & FISCHER, J. S. (2012). *Neuropsychological assessment* (5. ed.). Oxford University Press, USA.
- LIEW, J. (2012). Effortful control, executive functions, and education: Bringing self-regulatory and social-emotional competencies to the table. *Child development perspectives*, 6(2), 105-111.
- LIEW, Z., GOUDARZI, H., & OULHOTE, Y. (2018). Developmental exposures to perfluoroalkyl substances (PFASs): an update of associated health outcomes. *Current environmental health reports*, 5, 1-19.
- LYALL, K., YAU, V. M., HANSEN, R., KHARRAZI, M., YOSHIDA, C. K., CALAFAT, A. M., WINDHAM, G., & CROEN, L. A. (2018). Prenatal maternal serum concentrations of per-and polyfluoroalkyl substances in association with autism spectrum disorder and intellectual disability. *Environmental health perspectives*, 126(1), 017001.
- LOGUE, S. F., & GOULD, T. J. (2014). The neural and genetic basis of executive function: attention, cognitive flexibility, and response inhibition. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 123, 45-54.
- LUPO, A. (2022). *Valutazione del ruolo dell'inquinamento da PFAS e dell'ambiente familiare sullo sviluppo: il progetto TEDDY Child*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Padova.
- MILLER, E. K., & COHEN, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual review of neuroscience*, 24(1), 167-202.
- MIYAKE, A., FRIEDMAN, N. P., EMERSON, M. J., WITZKI, A. H., HOWERTER, A., & WAGER, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1), 49-100.
- MOLFESE, V. J., MOLFESE, P. J., MOLFESE, D. L., RUDASILL, K. M., ARMSTRONG, N., & STARKEY, G. (2010). Executive function skills of 6–8 year olds: Brain and

- behavioral evidence and implications for school achievement. *Contemporary educational psychology*, 35(2), 116-125.
- NAGAHAWATTE, N. T., & GOLDENBERG, R. L. (2008). Poverty, maternal health, and adverse pregnancy outcomes. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1136(1), 80-85.
- O'NEIL, R., PARKE, R. D., & MCDOWELL, D. J. (2001). Objective and subjective features of children's neighborhoods: Relations to parental regulatory strategies and children's social competence. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 22(2), 135-155.
- ODE, A., KÄLLÉN, K., GUSTAFSSON, P., RYLANDER, L., JÖNSSON, B. A., OLOFSSON, P., IVARSSON, S. A., LINDH, C. H., IVARSSON, S. A., LINDH, C. H., & RIGNELL-HYDBOM, A. (2014). Fetal exposure to perfluorinated compounds and attention deficit hyperactivity disorder in childhood. *PloS one*, 9(4), e95891.
- PERERA, F. P. (2017). Multiple threats to child health from fossil fuel combustion: impacts of air pollution and climate change. *Environmental health perspectives*, 125(2), 141-148.
- *PERERA, F. P., TANG, D., WHYATT, R. M., LEDERMAN, S. A., & JEDRYCHOWSKI, W. (2004). Comparison of PAH-DNA adducts in four populations of mothers and newborns in the US, Poland and China. In: *Proceedings of the AACR 94th Annual Meeting, Vol. 45* (pp. 27-31). Orlando, Florida. Orlando, FL: American Association for Cancer Research.
- PÉREZ, F., NADAL, M., NAVARRO-ORTEGA, A., FABREGA, F., DOMINGO, J. L., BARCELÓ, D., & FARRÉ, M. (2013). Accumulation of perfluoroalkyl substances in human tissues. *Environment international*, 59, 354-362.
- PIAGET, J. (1967). *La construction du réel chez l'enfant*. Paris-Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.
- PITTER, G., DA RE, F., CANOVA, C., BARBIERI, G., ZARE JEDDI, M., DAPRÀ, F., MANEA, F., ZOLIN, R., BETTEGA, A. M., STOPAZZOLO, G., VITTORII, S., ZAMBELLI, L., MARTUZZI, M., MANTOAN, D., & RUSSO, F. (2020). Serum levels of perfluoroalkyl substances (PFAS) in adolescents and young adults exposed to contaminated drinking water in the Veneto region, Italy: a cross-sectional study based on a health surveillance program. *Environmental health perspectives*, 128(2), 027007.
- PORGES, S. W. (1992). Vagal tone: a physiologic marker of stress vulnerability. *Pediatrics*, 90(3), 498-504.
- PORGES, S. W. (1995a). Cardiac vagal tone: a physiological index of stress. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 19(2), 225-233.
- PORGES, S. W. (1995b). Orienting in a defensive world: Mammalian modifications of our evolutionary heritage. A polyvagal theory. *Psychophysiology*, 32(4), 301-318.

- PORGES, S. W. (2001). The polyvagal theory: phylogenetic substrates of a social nervous system. *International journal of psychophysiology*, 42(2), 123-146.
- PORGES, S. W. (2003). The polyvagal theory: Phylogenetic contributions to social behavior. *Physiology & behavior*, 79(3), 503-513.
- PORGES, S. W. (2007). The polyvagal perspective. *Biological psychology*, 74(2), 116-143.
- PORGES, S. W., DOUSSARD-ROOSEVELT, J. A., & MAITI, A. K. (1994). Vagal tone and the physiological regulation of emotion. *Monographs of the society for research in child development*, 167-186.
- *ROBBINS, T. W. (1996). Dissociating executive functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 351(1346), 1463-1471.
- RÖTHLISBERGER, M., NEUENSCHWANDER, R., CIMELI, P., & ROEBERS, C. (2013). Executive functions in 5-to 8-year olds: Developmental changes and relationship to academic achievement. *Journal of Educational and Developmental Psychology*, 3(2), 153-167.
- SALVAN, A., SARTORI, N., PACE, L., SALVAN, A., SARTORI, N., & PACE, L. (2020). *Modelli Lineari Generalizzati*. Springer Milan.
- SHELL, L. M., GALLO, M. V., DENHAM, M., & RAVENSCROFT, J. (2006). Effects of pollution on human growth and development: an introduction. *Journal of physiological anthropology*, 25(1), 103-112.
- *SCHWERDTFEGER, A. R., & SCHLAGERT, H. (2011). The conjoined effect of naturalistic perceived available support and enacted support on cardiovascular reactivity during a laboratory stressor. *Annals of Behavioral Medicine*, 42(1), 64-78.
- SCRIMIN, S., PATRON, E., LANFRANCHI, S., MOSCARDINO, U., PALOMBA, D., & MASON, L. (2019). Profiles of vagal withdrawal to challenging interactions: Links with preschoolers' conceptual shifting ability. *Developmental Psychobiology*, 61(1), 116-124.
- SIMONELLI, A. (2014). *La funzione genitoriale. Sviluppo e psicopatologia*. Raffaello Cortina.
- *SLOAN, R. P., BAGIELLA, E., SHAPIRO, P. A., KUHL, J. P., CHERNIKOVA, D., BERG, J., & MYERS, M. M. (2001). Hostility, gender, and cardiac autonomic control. *Psychosomatic Medicine*, 63(3), 434-440.
- *SMITH, T. W., CRIBBET, M. R., NEALEY-MOORE, J. B., UCHINO, B. N., WILLIAMS, P. G., MACKENZIE, J., & THAYER, J. F. (2011). Matters of the variable heart: respiratory sinus arrhythmia response to marital interaction and associations with marital quality. *Journal of Personality and Social Psychology*, 100(1), 103-119.

- STEIN, C. R., & SAVITZ, D. A. (2011). Serum perfluorinated compound concentration and attention deficit/hyperactivity disorder in children 5–18 years of age. *Environmental health perspectives*, *119*(10), 1466-1471.
- *STIFTER, C. A., & JAIN, A. (1996). Psychophysiological correlates of infant temperament: Stability of behavior and autonomic patterning from 5 to 18 months. *Developmental psychobiology*, *29*(4), 379-391.
- *STUSS, D. T., & ALEXANDER, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychological research*, *63*(3-4), 289-298.
- *SUESS, P. E., PORGES, S. W., & PLUDE, D. J. (1994). Cardiac vagal tone and sustained attention in school-age children. *Psychophysiology*, *31*(1), 17-22.
- THAYER, J. F., & LANE, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of affective disorders*, *61*(3), 201-216.
- VALENZA, E., & TURATI, C. (Eds.). (2019). *Promuovere lo sviluppo della mente: un approccio neurocostruttivista*. Il Mulino.
- VENUTI, P., SIMONELLI, A., & RIGO, P. (2018). *Basi biologiche della funzione genitoriale: condizioni tipiche e atipiche*. Raffaello Cortina Editore.
- VIANELLO, R., GINI, G., & LANFRANCHI, S. (2015). *Psicologia dello sviluppo*. UTET università.
- VUONG, A. M., YOLTON, K., WANG, Z., XIE, C., WEBSTER, G. M., YE, X., CALAFAT, A. M., BRAUN, J. M., DIETRICH, K. N., LANPHEAR, B. P., & CHEN, A. (2018). Childhood perfluoroalkyl substance exposure and executive function in children at 8 years. *Environment international*, *119*, 212-219.
- VUONG, A. M., YOLTON, K., WEBSTER, G. M., SJÖDIN, A., CALAFAT, A. M., BRAUN, J. M., DIETRICH, K. N., LANPHEAR, B. P., & CHEN, A. (2016). Prenatal polybrominated diphenyl ether and perfluoroalkyl substance exposures and executive function in school-age children. *Environmental research*, *147*, 556-564.
- *WEISNER, T. S., & GAMIER, H. (1992). Nonconventional family life-styles and school achievement: A 12-year longitudinal study. *American Educational Research Journal*, *29*, 605-632.
- *WEISNER, T. S., MATHESON, C., & BERNHEIMER, L. (1996). American cultural models of early influence and parent recognition of developmental delays: Is earlier always better than later. *Parents' cultural belief systems: Their origins, expressions, and consequences* (pp. 496-532). New York: Guilford.
- WINNICOTT, D. W. (1965). *The maturational processes and the facilitating environment: Studies in the theory of emotional development*. International Universities Press.
- XU, Z., SHEFFIELD, P. E., HU, W., SU, H., YU, W., QI, X., & TONG, S. (2012). Climate change and children's health—A call for research on what works to protect

children. *International journal of environmental research and public health*, 9(9), 3298-3316.

*opere non direttamente consultate

