

# Itinerari di Diritto Penale

*Collana diretta da*

E. Dolcini - G. Fiandaca - E. Musco - T. Padovani - F. Palazzo - F. Sgubbi

MARIA TERESA FILINDEU

## COLPEVOLEZZA E NEUROSCIENZE: PROSPETTIVE DI UN CONFRONTO DIALOGICO



G. GIAPPICHELLI EDITORE – TORINO

## INTRODUZIONE

L'apertura alle scienze empiriche e sociali rappresenta oggi «un ambito titolo di legittimazione»<sup>1</sup> per un sistema giuridico che pretenda di iscriversi nella cultura della modernità se non altro poiché la capillarità delle relazioni intercorrenti tra scienza empirica e sistema giuridico rende oramai irrinunciabile il dialogo tra tali saperi<sup>2</sup>. La convergenza tra “i due principali creatori di ordine e regole”<sup>3</sup> e la loro vicendevoles legittimazione è percepibile nei rispettivi luoghi di competenza, reciprocamente colonizzati, ove “discipline, soggetti, professioni e linguaggi si mescolano”<sup>4</sup>. Sempre più frequentemente il normativismo accompagna il naturalismo sollecitato dal crescente bisogno della società di un disciplinamento giuridico in risposta alle incertezze conoscitive connesse al progresso scientifico.

Ciò, beninteso, non senza difficoltà: ne è prova lampante il c.d. *law lag*, ossia il presunto “ritardo legale” che, secondo la prospettiva

---

<sup>1</sup> V. G. FIANDACA, *Prima lezione di diritto penale*, Bari, 2017, p. 151.

<sup>2</sup> Il riferimento è alla scienza quale impresa scientifica e, più propriamente, come precisa D. PULITANÒ, *Il diritto penale fra vincoli di realtà e sapere scientifico*, in *Riv. it. dir. proc. pen.*, 2006, p. 797, da intendersi come «non (o non soltanto) un sistema di conoscenze, ma un'impresa finalizzata ad acquisire conoscenze». Sul tema relativo al rapporto tra diritto e scienza, si rinvia, tra altri, a F. STELLA, *Giustizia e modernità. La protezione dell'innocente e la tutela delle vittime*, Torino, 2003; G. FIANDACA, *Concezioni e modelli di diritto penale tra legislazione, prassi giudiziaria e dottrina*, in *Quest. giust.*, 1991, n. 1, p. 31 ss.; G. FORTI, *L'immane concretezza*, Milano, 2000, p. 101 ss.; T. PADOVANI, *Lezione introduttiva sul metodo nella scienza del diritto penale*, in *Criminalia*, 2010, p. 227 ss.

<sup>3</sup> M. TALLACCHINI, *Scienza e diritto. Prospettive di co-produzione*, in *Riv. fil. dir.*, 2012, II, p. 313, la quale richiama il pensiero di S. JASANOFF, *Science and public Reason*, New York, 2012.

<sup>4</sup> L'espressione di M. TALLACCHINI, *Scienza e diritto. Prospettive di co-produzione*, cit., p. 315 è atta a descrivere la stretta collaborazione tra gli attori coinvolti: il ruolo cruciale della comprensione scientifico-tecnologica in ambito giuridico comporta la costante partecipazione attiva nei procedimenti giuridici degli scienziati, in qualità di esperti, e l'affiancamento di questi ultimi, da parte dei giuristi, al fine di garantire la sicurezza e la correttezza normative delle attività svolte.

neuroscientifica, è conseguenza dell'inidoneità degli strumenti giuridici a stare al passo con i ritmi dello sviluppo scientifico e tecnologico. Nell'ottica in esame, il diritto occidentale contemporaneo avrebbe maturato un ritardo di circa quattro secoli rispetto alle neuroscienze: il suo ancoraggio alla concezione cartesiana dell'individuo avrebbe dato origine a un vero e proprio scollamento tra la scienza della mente e le posizioni di senso comune e lo avrebbe reso inadatto a competere con successo in una dimensione ormai scientifico-centrica<sup>5</sup>.

A ciò si sommano le difficoltà connesse alla radicale alterità tra i due linguaggi – descrizioni scientifiche da una parte e prescrizioni normative dall'altra – le quali oggi sollecitano più che mai le riflessioni della dottrina in ordine alla creazione – prima ancora che di un assetto metodologico che favorisca l'accoglienza, in seno a una disciplina, dei contenuti dell'altra – di un linguaggio comune, necessario, in un'ottica di co-produzione<sup>6</sup>, nel processo di adattamento della scienza alla legge.

Gli studi che nell'ultimo cinquantennio hanno riguardato il settore dell'attività cerebrale hanno contribuito a disvelare nuove cornici interpretative entro le quali inquadrare gli istituti e le categorie penali-

<sup>5</sup> In questo senso le riflessioni di G. SARTORI, A. LAVAZZA, L. SAMMICHELI, *Cervello, diritto e giustizia*, in A. LAVAZZA, G. SARTORI (a cura di), *Neuroetica*, Bologna, 2011, p. 135.

<sup>6</sup> Con riferimento alla suggestiva tesi della *coproduzione* tra scienza e diritto in un'ottica di ibridazione tra saperi differenti si veda: S. JASANOFF, *La scienza davanti ai giudici*, Milano, 2001, capp. III-IV. In Italia è Mariachiara Tallacchini a prospettare, richiamando gli studi della Jasanoff, i due diversi approcci del *separatismo* e della *coproduzione* in M. TALLACCHINI, *La costruzione giuridica della scienza come co-produzione tra scienza e diritto*, in *Politeia*, 2002, XVIII, n. 65, p. 126 ss.; EAD., *Giudici, esperti, cittadini: scienza e diritto tra validità metodologica e credibilità civile*, in *Politeia*, 2003, XIX, n. 70, pp. 89-90; EAD., *Scienza e diritto. Prospettive di co-produzione*, in *Riv. fil. dir.*, 2012, II, p. 315 ss. Sul punto, è interessante la lettura critica ed equilibrata offerta dalla Di Giovine, la quale argomenta il suo scetticismo in merito a un processo di consapevole coproduzione facendo leva sulla mancanza, in capo al diritto penale, di un'autonoma dimensione assiologica. Il sistema dei valori, lungi dal derivare da un "Empireo penale", è profondamente connesso e plasmato dal mutare della sua percezione sociale e quest'ultima è a sua volta fortemente condizionata dai progressi scientifici e tecnologici. Da ciò deriva il convincimento dell'Autrice per un tipo di coproduzione, tutt'al più inconsapevole, ma certamente lontana dall'idea di una "*civic epistemology*" di cui parla la Jasanoff. Cfr. O. DI GIOVINE, *I presupposti della responsabilità penale tra diritto e scienze*, in *Dir. pen. cont.*, 22 giugno 2018. Sulla necessità di una lingua franca universale che faccia da ponte tra i due ambiti scientifici: M.B. MAGRO, *Scienze e scienza penale. L'integrazione tra saperi incommensurabili nella ricerca di un linguaggio comune*, in *Arch. pen. (Rivista web)*, 2019, I, p. 35.

stiche maggiormente sensibili alle variabili empiriche. L'aumento esponenziale delle questioni sorte intorno al fenomeno neuroscientifico, il numero crescente delle alternative metodologiche di ricerca sviluppate dai giuristi e i numerosi piani di intersezione coinvolti rappresentano un chiaro indice dell'accelerazione subita dal dibattito scientifico in materia, rispetto alla quale «si è passati dal prospettare possibili sviluppi futuri al redigere dei bilanci»<sup>7</sup>.

Di fronte a un quadro di partenza decisamente ricco e talmente ampio da prestarsi a una molteplicità di declinazioni tutte meritevoli di attenzione e studio, si impone una scelta di campo. Da qui la precisa volontà di percorrere un terreno abbondantemente arato dalla dottrina, quello della colpevolezza, mossi dalla convinzione che esso resti ancora oggi un terreno fertile in grado di offrire continui e interessanti spunti di riflessione. Si tratta di una prospettiva evidentemente più circoscritta, ma non per questo angusta considerato che essa si staglia pur sempre sull'orizzonte teorico dato dai rapporti tra il diritto penale e le (neuro)scienze. In quest'ottica, il nostro lavoro si pone in ideale prosecuzione rispetto al nutrito dibattito dottrinale avviato da tempo in materia.

L'intera dimensione soggettiva del reato è coinvolta nella principale questione sollevata o, meglio ancora, riproposta dalle moderne acquisizioni neuroscientifiche relativamente al libero arbitrio, la quale si presenta in tutta la sua delicatezza e pone al penalista una serie di interrogativi ineludibili. Tra tutti, se e in che misura le risultanze della recente ricerca scientifica contribuiscano a delineare il (nuovo?) volto della categoria penalistica in esame. Difatti, per quanto l'autonomia del diritto penale riposi su precise scelte e parametri valoriali volti al perseguimento di dati fini di natura sociale e la scienza attenga tendenzialmente al campo dei giudizi di fatto, non può tuttavia non considerarsi come la complessa dialettica tra diritto penale e scienza, così come tra norma e tecnica, stia sperimentando uno spostamento del proprio baricentro foriero di rischi oramai noti. Sia sufficiente considerare la condizione di subalternità che, nei processi (sempre più frequenti) per fatti complessi, rischia di assumere il giudice rispetto all'esperto da lui interpellato<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> L'osservazione è di S. FUSELLI, *Diritto, neuroscienze, filosofia. Un itinerario*, Milano, 2014, p. 13.

<sup>8</sup> Sul punto si vedano le incisive riflessioni di G. FIANDACA, *Il giudice di fronte alle controversie tecnico-scientifiche. Il diritto e il processo penale*, in *Diritto & Questioni pubbliche*, 2005, n. 5, p. 22 a supporto delle quali si cita il comparatista M.R. DAMASKA, *Il diritto delle prove alla deriva*, tr. it., Bologna, 2003, p. 215, se-

Ma, oltre al bisogno, avvertito oggi in modo sempre più stringente, della scienza penale di comprendere appieno le realtà fattuali che essa si accinge a regolare, emerge tra gli stessi penalisti la necessità di integrare (se non di sostituire) taluni concetti «premoderni» del diritto penale, intrisi di senso comune e affetti da «un impoverimento semantico» con «concetti propri di un razionalità più evoluta, qual è quella della scienza»<sup>9</sup>.

La colpevolezza, chiamata in questo momento storico a ricercare un equilibrio tra le seduzioni del fascino esercitato dalle (neuro)scienze e i rigidi schematismi derivanti da un dogmatismo esasperato, rappresenta, a nostro parere, un'ottima cartina tornasole per comprendere quanto il diritto penale sia realmente "moderno", "disincantato" e "razionalizzato". L'interrogativo centrale da cui origina la presente ricerca e che ne costituisce al contempo la necessaria cornice riguarda l'opportunità e la ragionevolezza di una rilettura in chiave neuroscientifica di tale categoria dogmatica e sarà proprio negli elementi che la compongono e nella loro *ratio* che troveremo la soluzione a tale quesito.

Un ultimo, rapido cenno, infine, sulla struttura del lavoro, il quale si articolerà nel modo seguente. Si opererà dapprima una mappatura dell'orizzonte di ricerca, attraverso una sommaria, ma imprescindibile panoramica dei recenti studi neuroscientifici al fine di inquadrare l'interlocutore della categoria penalistica che ci proponiamo di analizzare e di fissare le coordinate teoriche essenziali per il nostro discorso. Anche in questo caso, l'ampiezza del campo di indagine impone di circoscrivere il perimetro della ricerca, la quale verterà sugli influssi esercitati in ambito penale delle "sole" neuroscienze cognitive, comportamentali e della genetica comportamentale. Seguirà un'illustrazione dei profili conoscitivi e dei piani di riflessione extragiuridici che, in un'ottica necessariamente interdisciplinare, concorrono a vario titolo a plasmare il discorso fino a condurre al nucleo dell'indagine.

Si procederà poi all'esplorazione della dimensione normativa attraverso la scomposizione della colpevolezza nei suoi fattori primi. I dati giurisprudenziali si riveleranno fondamentali sia per sondare le

---

condo il quale «Un sintomo di imminente pericolo è la crescente preoccupazione rispetto alle funzioni esercitate dall'esperto nominato dal giudice, poiché i giudici spesso non riescono a comprendere i suoi misteriosi accertamenti (...). Il servitore del giudice sta forse diventando il suo segreto padrone?».

<sup>9</sup>L. SANTAMARIA, *La mia idea di una scienza del diritto penale*, in *Dir. pen. cont.*, 26 marzo 2018, p. 3 s.

eventuali implicazioni del sapere neuroscientifico nel settore della colpevolezza penale, sia per verificarne la reale portata. L'analisi separata della disciplina dell'imputabilità e dell'elemento soggettivo del reato consentirà, da una parte, di isolare con più facilità i singoli punti di intersezione con le neuroscienze al fine di sciogliere i nodi critici ad essi correlati, ma risponderà altresì alla precisa scelta di evidenziare con maggiore nitore i differenti livelli di interazione tra le categorie di diritto sostanziale esaminate e il dato neuroscientifico.

Un ultimo sguardo sarà infine volto alla dimensione processuale della colpevolezza onde chiarire se e in che misura le acquisizioni neuroscientifiche possano contribuire a un più efficace accertamento delle categorie suindicate in sede di giudizio sulla responsabilità penale, avendo riguardo in particolare al considerevole rischio che talune nuove ipotesi teoriche, per il solo fatto di essere innovative e poco conosciute, siano catalogate come "*bad science*".



## CAPITOLO I

# DIRITTO PENALE E NEUROSCIENZE: L'ORIZZONTE DI RIFERIMENTO

SOMMARIO: Premessa. – SEZIONE I: *Le neuroscienze: un ritratto dell'interlocutore di riferimento*. – 1. Il fenomeno neuroscientifico: una panoramica. – 1.1. I livelli di analisi. – 2. Le neuroscienze cognitive: brevi cenni storici. – 2.1. *Segue*: le neuroscienze cognitive oggi. – 3. Tecniche neuroscientifiche di esplorazione cerebrale. – 3.1. Tecniche di esplorazione funzionale. – 3.2. Tecniche di “*memory detection*”: l'aIAT. – 4. La genetica comportamentale. – SEZIONE II: *Coordinate concettuali per un'indagine necessariamente interdisciplinare*. – 5. Neuroscienze e altre scienze: connessioni necessarie. – 6. Neuroscienze e filosofia. – 6.1. *L'esperienza cosciente*: breve interludio. – 6.2. Libero arbitrio e processo decisionale. – 6.3. Dall'illusione alla necessità. – 6.4. Brevi considerazioni interlocutorie. – 7. Neuroscienze e psicologia. – 8. Neuroscienze ed etica. – Sezione III: *Colpevolezza e neuroscienze: delimitazione del campo di indagine*. – 9. Neuroscienze e diritto penale: una premessa. – 10. Verso una rifondazione della responsabilità penale su base neuroscientifica? – 10.1. Alcune obiezioni dei penalisti al programma forte. – 10.1.1. L'errore categoriale. – 10.1.2. Le insidie dei paradigmi preventivi. – 10.1.3. La colpevolezza come principio irrinunciabile. – 10.1.4. Modello retributivo e libero arbitrio: incongruenze. – 11. L'approccio moderato della dottrina penalistica italiana.

### *Premessa*

Il presente capitolo si propone di inquadrare in primo luogo l'orizzonte di indagine in cui si colloca la nostra ricerca e fornire al lettore alcune prime coordinate concettuali ed epistemologiche. È evidente che lo studio delle possibili interazioni tra due distinte branche del sapere presupponga, anzitutto, una previa conoscenza delle suddette e se ciò, nel caso di specie, può presumersi con riferimento alle categorie penalistiche, altrettanto non pare valere in relazione al fenomeno neuroscientifico. Ne deriva che il primo approccio al tema in esame non può che concretarsi in una preliminare invasione di campo

nelle neuroscienze al fine di delineare, seppur per sommi capi, i saperi coinvolti. Consapevoli che un'operazione di questo tipo possa rivelarsi insidiosa per il giurista che dispone dei soli strumenti offerti dalla scienza giuridica – inidonei, per loro stessa natura, all'esplorazione di una scienza empirica – ma al contempo persuasi dell'assoluta necessità della stessa, ci limiteremo nella prima sezione a una breve panoramica del fenomeno neuroscientifico al solo scopo di agevolare la dissertazione. A seguire, procederemo con una rapsodica illustrazione dei percorsi concettuali e interdisciplinari nei quali si declina la nostra indagine e che assumono un ruolo chiave per pervenire al fulcro della stessa, individuato nei rapporti tra le neuroscienze e la categoria penalistica della colpevolezza.

Il composito orizzonte di indagine che si profila davanti ai nostri occhi ci dà in qualche modo la misura della complessità e della multidimensionalità della conoscenza, qui più che mai «inseparabilmente, fisica, biologica, cerebrale, mentale, psicologica, culturale, sociale»<sup>1</sup>.

## SEZIONE I

### LE NEUROSCIENZE: UN RITRATTO DELL'INTERLOCUTORE DI RIFERIMENTO

#### 1. *Il fenomeno neuroscientifico: una panoramica*

Icasticamente descritte come un «un grande fiume carsico che è emerso all'improvviso e che tumultuosamente e invasivamente sta occupando la scena della ricerca scientifica»<sup>2</sup>, le neuroscienze rappresentano una recente declinazione del progresso scientifico. Il neologismo “neuroscienze” compare per la prima volta nel 1972, nella formula inglese “*The Neuroscience Research Program*” (NRP)<sup>3</sup> per indicare un programma di ricerca diretto da Francis Otto Schmitt al

---

<sup>1</sup> Sono le parole di E. MORIN, *La conoscenza della conoscenza*, tr. it., Milano, 2007, p. 8.

<sup>2</sup> L'espressione è di C. INTRIERI, *Le neuroscienze e il paradigma della nuova prova scientifica*, in A. BIANCHI, G. GULOTTA, G. SARTORI, *Manuale di neuroscienze forensi*, Milano, 2009, p. 195.

<sup>3</sup> M. MEULDERS, *Helmholtz. Dal secolo dei Lumi alle neuroscienze*, Torino, 2005, p. 8 s.

*Massachusetts Institute of Technology*, che riunisce biologi e scienziati di diversa formazione.

Oggi con il termine neuroscienze si designa «un gruppo di discipline scientifiche tra loro eterogenee, ma che condividono un fondamentale programma comune: quello di comprendere come il cervello renda possibili i fenomeni mentali e i comportamenti umani, anche quelli più complessi e tradizionalmente considerati inaccessibili all'indagine scientifica»<sup>4</sup>. Le relative acquisizioni mirano a dimostrare come i processi neuronali non solo determinino lo stato di coscienza e presiedano alle funzioni integrative superiori, ma rappresentino altresì il substrato organico di pensieri, emozioni e decisioni. Gli scienziati che anelano alla piena comprensione dei comportamenti umani, nutrono ormai la consapevolezza che questi ultimi altro non sono che il risultato finale di una funzione cerebrale: la mente si spoglia della sua connotazione di entità astratta per palesarsi come l'insieme delle attività cognitive svolte dal cervello. Secondo tale principio informatore, non solo le percezioni, le azioni, le emozioni e l'apprendimento originano dalle singole connessioni sinaptiche, ma le stesse cause dei disturbi comportamentali – siano essi di natura psichiatrica, affettiva o attinenti alla sfera cognitiva – vanno ricercate nelle alterazioni delle funzioni cerebrali<sup>5</sup>.

### 1.1. I livelli di analisi

Onde fugare fin d'ora eventuali equivoci o dubbi connessi alla terminologia adottata, esordiamo con una precisazione rivolta al lettore. Allorquando, d'ora in avanti, adopereremo – per pura comodità espositiva – il termine “neuroscienze” senza alcuna ulteriore specificazione, il riferimento sarà sempre alle neuroscienze cognitive e comportamentali<sup>6</sup>. L'avvertenza è d'obbligo: all'interno del composito quadro

---

<sup>4</sup> Come efficacemente precisato da A. BIANCHI, nel suo articolo: “*Neuroscienze e diritto: spiegare di più per comprendere meglio*”, in AA.VV., *Manuale di neuroscienze forensi*, cit., XIII.

<sup>5</sup> Esaustivamente, per tutti, E.R. KANDEL, J.H. SCHWARTZ, T.M. JESSEL, *Principi di neuroscienze*, Milano, 2014. Restringendo le citazioni all'essenziale, sulla ricostruzione del fenomeno neuroscientifico in ambito penalistico, per tutti, C. GRANDI, *Neuroscienze e responsabilità penale. Nuove soluzioni per problemi antichi*, Torino, 2016, pp. 1-37.

<sup>6</sup> Per quanto autonome e distinte dal punto di vista concettuale, si tratta di due branche connotate da una spiccata complementarità, la quale, peraltro, si desu-

neuroscientifico, si impongono differenti livelli di analisi e di ricerca che contribuiscono ad allargare il perimetro della materia e che, per ragioni di completezza, conviene quantomeno enunciare sommariamente<sup>7</sup>.

Il livello più elementare di studio del sistema nervoso è dato dalla *neuroscienza molecolare*, impegnata a indagarne la biologia ossia le funzioni e le interazioni tra le molecole che supportano le più complesse funzioni nervose. Accanto ad essa troviamo la *neuroscienza cellulare*, deputata allo studio della natura, della morfologia e della fisiologia delle cellule del sistema nervoso: i neuroni. Ad un livello immediatamente successivo, la *neuroscienza dei sistemi* si cura dell'organizzazione e del funzionamento dei sistemi neurali preposti alla decodifica dei segnali sensoriali, alla organizzazione e controllo dell'uscita motoria, alle funzioni cognitive superiori. Le *neuroscienze cognitive* si occupano invece dei meccanismi neurali sottesi ai cosiddetti processi "mentali" superiori, quali la percezione, la memoria, le emozioni, il ragionamento, il linguaggio e l'apprendimento. Al confine tra neuroscienze e psicologia fisiologica e cognitiva, esse si collocano ad un grado di analisi elevato, per certi versi sovrapponibile con quello delle *neuroscienze comportamentali*<sup>8</sup>. Queste ultime hanno ad oggetto i meccanismi cerebrali propri del comportamento, inteso nelle manifestazioni sensorimotorie, cognitive ed emotive, oltre che l'analisi genetica del cervello in relazione al comportamento posto in essere<sup>9</sup>. Infine la *neuroscienza integrativa* riguarda i meccanismi che favoriscono l'interazione tra i differenti livelli menzionati<sup>10</sup>.

---

me dalla condivisione degli stessi strumenti e metodi di indagine: su tutti le tecniche di *neuroimaging*.

<sup>7</sup>Una prospettazione di tali livelli è offerta da F. BASILE, G. VALLAR, *Neuroscienze e diritto penale: le questioni sul tappeto*, in *Dir. pen. cont. – Riv. trim.*, 2017, n. 4, p. 271 s.; L. ALGERI, *Neuroscienze e testimonianza della persona offesa*, in *Riv. it. med. leg.*, 2012, n. 2, p. 903 ss.; M.F. BEAR, B.W. CONNORS, M.A. PARADISO, *Neuroscienze. Esplorando il cervello*, Milano, 2016, p. 12 ss.; P. TONINI, C. CONTI, *Il diritto delle prove penali*, Milano, 2014, p. 191 ss.

<sup>8</sup>In letteratura specialistica, per tutti, D. PURVES, G.J. AUGUSTINE, D. FITZPATRICK *et. al.*, *Neuroscienze*, Bologna, 2021, p. 641 ss.

<sup>9</sup>Per quanto autonome a livello concettuale, sono però fortemente complementari tanto da condividere alcuni metodi e strumenti di analisi: in primo luogo le tecniche di *neuroimaging*. Cfr. F. BASILE, G. VALLAR, *Neuroscienze e diritto penale: le questioni sul tappeto*, cit., p. 271.

<sup>10</sup>Merita, infine, di essere menzionata in questa sede, quantomeno per le affinità riguardanti l'oggetto di studio, la neuropsicologia, la quale, nell'indagare le relazioni sussistenti tra il cervello e il comportamento umano, analizza i processi

A una prima suddivisione ideale della materia in funzione della complessità intrinseca propria dei diversi livelli di indagine si affianca un differente sistema di mappatura delle neuroscienze, che, nel tentativo di fare ordine in materia, prevede classificazioni che fanno leva sul tipo di relazione intercorrente tra neuroscienza e altri ambiti disciplinari nonché su ciò che sta alla base delle relative intersezioni. In questa direzione, per ciò che a noi più interessa, assume rilevanza centrale la categoria delle *neuroscienze giuridiche*, aventi ad oggetto le influenze, nonché le applicazioni dirette o indirette delle acquisizioni neuroscientifiche in ambito giuridico<sup>11</sup>.

Al suo interno, possono a loro volta distinguersi le *neuroscienze forensi*, le *neuroscienze criminali* e le *neuroscienze normative e della cognizione morale*. Queste tre categorie si occupano rispettivamente dei «dati neuroscientifici rilevanti ai fini della valutazione giudiziaria: in altri termini dell'idoneità delle teorie e delle metodologie della neuroscienza a costituire valida prova scientifica all'interno del processo», dello «studio neuroscientifico del soggetto criminale» e «dello studio neuroscientifico del "senso di giustizia" e del ragionamento morale»<sup>12</sup>. Si tratta, come prontamente osservato in letteratura neuroscientifica, di una partizione sommaria, considerate le innumerevoli sovrapposizioni fra le aree di ricerca.

## 2. Le neuroscienze cognitive: brevi cenni storici

Verso la metà del XIX secolo, lo studio dell'attività mentale, sino ad allora appannaggio della filosofia, diventa prerogativa della psico-

---

cognitivi ed emotivo-motivazionali alla base di quest'ultimo sia in pazienti affetti da patologie a carico del sistema nervoso centrale (neuropsicologia clinica) che in soggetti sani. Per approfondimenti, diffusamente, G. VALLAR, C. PAPAGNO (a cura di), *Manuale di neuropsicologia. Clinica ed elementi di riabilitazione*, Bologna, 2018; G. DENES, L. PIZZAMIGLIO (a cura di), *Manuale di neuropsicologia. Normalità e patologia dei processi cognitivi*, Bologna, 2019; E. LADAVAS, A. BERTI, *Neuropsicologia*, Bologna, 2020.

<sup>11</sup> L. SAMMICHELI, G. SARTORI, *Neuroscienze giuridiche. I diversi livelli di interazione tra diritto e neuroscienze*, in A. BIANCHI, G. GULOTTA, G. SARTORI (a cura di), *Manuale di neuroscienze forensi*, Milano, 2009, p. 15 ss.; L. ALGERI, *Il contributo delle neuroscienze in materia di disturbi della personalità e infermità di mente, in Crimen et Delictum*, 2013, V, p. 66.

<sup>12</sup> L. SAMMICHELI, G. SARTORI, *Neuroscienze giuridiche. I diversi livelli di interazione tra diritto e neuroscienze*, cit., p. 17.

logia sperimentale, dapprima impegnata a scandagliare le sequenze di eventi attraverso i quali, a partire da uno stimolo, nasce una sensazione, poi interessata a comprendere i meccanismi di generazione, di modifica e di conservazione del comportamento nei “magazzini della memoria”.

Nel solco dell’empirismo, la corrente di pensiero associazionista ritiene che le idee e i concetti semplici rappresentino la conseguenza dell’esperienza sensoriale diretta e che la loro associazione sia alla base delle idee e dei concetti complessi. Così si diffonde la convinzione che anche processi complessi e profondi quali la memoria possano essere analizzati e misurati<sup>13</sup>. Contestualmente alla pubblicazione dell’articolo programmatico “*Psychology as the Behaviorist Views It*” ad opera dello psicologo americano John Watson, muta radicalmente il modo stesso di concepire la psicologia.

L’introspezione, adoperata inizialmente per lo studio della cognizione, si rivela ben presto inefficace sia per l’inattitudine a comprendere capacità mentali del tutto indipendenti dall’esperienza cosciente, sia per le difficoltà nella valutazione stessa dei dati introspettivi connessa spesso alla rielaborazione a parole dell’esperienza analizzata<sup>14</sup>. L’astrattezza e l’intangibilità dell’essenza e delle funzioni della mente conducono inevitabilmente lo studioso del tempo a concentrarsi sull’analisi scientifica dei comportamenti posti in atto in conseguenza di dati stimoli.

Il rinnovato approccio empirico allo studio della psicologia, denominato comportamentismo (o *behaviorismo*), sostiene come al pari delle scienze fisiche, persino il comportamento possa essere scandagliato con lo stesso grado di precisione, canalizzando l’attenzione precipuamente sui soli aspetti osservabili (con conseguente esclusione delle motivazioni, dei sentimenti o, ancora, della consapevolezza di sé). Paradigma dominante della prima metà del XX secolo, l’approccio comportamentista asserisce che tutto nel comportamento animale e umano è dettato dalla relazione tra uno stimolo (c.d. ingresso)

---

<sup>13</sup> È quanto affermava l’associazionista Hermann Ebbinghaus. Qualche anno più tardi Edward Thorndike, nella monografia “*Animal intelligence: An Experimental Study of the Associative Processes in Animals*” illustrava il primo principio riguardante la natura delle associazioni. Secondo la sua legge dell’effetto, la risposta a uno stimolo, seguita da una ricompensa, non solo restava impressa, ma finiva per trasformarsi in una risposta abituale nell’organismo che la produceva. M.S. GAZZANIGA, R.I. IVRY, G.R. MANGUN, *Neuroscienze cognitive*, Bologna, 2015, p. 10.

<sup>14</sup> Cfr. A.J. SANFORD, *La mente dell’uomo*, tr. it., Bologna, 1992, p. 11.

e il comportamento esaminato o risposta (c.d. uscita). L'acquisizione delle informazioni da parte del cervello risponderebbe al binomio stimolo-risposta, essendo ognuno dotato, alla nascita, "dell'equipaggiamento nervoso che consentiva il verificarsi dell'apprendimento"<sup>15</sup>.

I processi cognitivi esistenti tra questi due momenti, quali le motivazioni, i sentimenti e la consapevolezza di sé, trascurati dai comportamentisti poiché non suscettibili di essere osservati, riacquistano dignità qualche anno più tardi grazie ai cognitivisti<sup>16</sup>, fortemente convinti del ruolo determinante di talune variabili (quali gli stati mentali, la storia pregressa o le aspettative) nelle variazioni delle relazioni ingresso-uscita<sup>17</sup>. Presto si diffonde, tuttavia, la consapevolezza che, essendo l'attività mentale equivalente ai processi computazionali del sistema nervoso, senza un accesso diretto al sistema nervoso centrale sia impossibile operare una scelta tra le diverse teorie. Questo *step* successivo, raggiunto nell'arco di un breve periodo, grazie alla diffusione di nuovi mezzi per lo studio empirico di processi mentali – a partire dall'analisi dei substrati nervosi della visione, del tatto e delle azioni – segna l'ingresso delle neuroscienze cognitive sul proscenio scientifico.

I pionieristici esperimenti di Benjamin Libet, volti ad analizzare i meccanismi cerebrali sottesi ai processi decisionali, nonché la relazione intercorrente tra l'assunzione di una decisione consapevole e le reti neurali alla base della stessa, segnano una tappa fondamentale nella storia delle neuroscienze cognitive<sup>18</sup>. Negli esperimenti effettua-

---

<sup>15</sup> Anni prima, l'associazionista Edward Thorndike, nella monografia "*Animal intelligence: An Experimental Study of the Associative Processes in Animals*", sempre a proposito dell'apprendimento, illustrava la legge dell'effetto in base alla quale la risposta seguita da una ricompensa non solo restava impressa, ma finiva per trasformarsi in una risposta abituale nell'organismo che la produceva. M.S. GAZZANIGA, R.I. IVRY, G.R. MANGUN, *Neuroscienze cognitive*, cit., p. 10.

<sup>16</sup> Tra questi Edwin Tolman, Frederick Bartlett, George Miller, Noam Chomsky, Ulrich Neisser ed Herbert Simon.

<sup>17</sup> Il risveglio cognitivo di metà degli anni '50 è in gran parte merito degli importanti contributi dell'informatico John von Neumann, del *behaviorista* George A. Miller, del linguista e filosofo Noam Chomsky. I loro studi sul linguaggio mal si conciliavano con i tentativi di spiegazioni forniti dalla teoria dell'associazionismo e, al contrario, dimostravano come la complessità del linguaggio fosse caratteristica intrinseca del cervello, basata su regole e principi universali inaccessibili alle limitate osservazioni dei comportamentisti.

<sup>18</sup> Il primo rivoluzionario esperimento in questo contesto, risale, per la precisione, al 1965 e fu posto in essere da Kornhuber e Deecke. Fu allora che si constatò per la prima volta l'insorgenza, in corrispondenza dell'area supplementare mo-

ti dal neurofisiologo di Stanford, i soggetti sperimentali venivano invitati a compiere – non appena si avvertisse lo stimolo a porlo in essere – un movimento elementare come la flessione di un dito e a controllare, al contempo, l'esatto istante di percezione dell'impulso. Fondamentale era il controllo, per mezzo di un dattiloscopio a raggi catodici, del momento preciso in cui era avvertito da ognuno di essi l'impulso, poiché, nel frattempo, attraverso gli elettrodi posti nello scalpo e atti a misurare l'attività elettrica era possibile verificare lo scarto temporale tra la coscienza dell'atto volontario e la sua dinamica neurofisiologica<sup>19</sup>.

Lo studio di centinaia di risultati emersi da esperimenti tra loro analoghi ha permesso a Libet di comparare il tempo soggettivo della decisione con quello neurale e di appurare l'insorgenza dell'attività cerebrale impegnata nell'inizio di un'azione circa 500 millisecondi prima dell'azione stessa. Infatti, mentre i volontari avvertivano l'impulso a flettere il dito circa 200 millisecondi prima dell'atto motorio, già 500 millisecondi prima della flessione del dito, dunque 300 millisecondi prima della percezione dello stimolo da parte dell'agente, l'apparecchiatura deputata alla misurazione dell'attività elettrica cerebrale, registrava un incremento di quest'ultima nell'area motoria supplementare. Tale incremento, definito *readiness potential* (o *Bereitschaftspotential*), ossia il potenziale di prontezza, era, secondo l'analisi statistica, causalmente legato all'esecuzione dell'azione materiale. I risultati suddetti inducevano a riconoscere la natura inconscia dei processi, considerata l'inefficacia causale delle intenzioni (definite, per questo, in gergo tecnico "epifenomeniche").

Eppure, Libet fu il primo a non rassegnarsi agli esiti controintuitivi e rivoluzionari del proprio esperimento e arrivò a elaborare un correttivo: la teoria del cosiddetto *free won't* o "libero veto". È così che il libero arbitrio trova il proprio paracadute di emergenza nei 200 millisecondi intercorrenti tra la consapevolezza dell'impulso a flettere il dito e l'azione compiuta. Il soggetto agente, in quel frangente seppur minimo di tempo, conserva ancora la capacità di interrompe-

---

toria, dell'attività elettrica circa 800 millesimi di secondo in anticipo rispetto al movimento. L'esperimento, replicato qualche anno più tardi dal neuroscienziato Per Roland e dai suoi collaboratori, suggeriva come l'area in cui compariva il segnale elettrico, denominato potenziale di preparazione o di prontezza, costituiva l'interfaccia fra l'evento mentale e le cellule del cervello. Per una puntuale descrizione dell'esperimento, si consiglia la lettura di P. STRATA, *La strana coppia. Il rapporto mente-cervello da Cartesio alle neuroscienze*, Roma, 2014, pp. 97-98.

<sup>19</sup> La descrizione dettagliata dell'esperimento è reperibile in B. LIBET, *Mind time. Il fattore tempo nella coscienza*, tr. it., Milano, 2007, pp. 128-138.

re la catena causale che conduce all'azione e arrestare i processi cerebrali attivatisi inconsciamente, decidendo sua sponte di non compierla<sup>20</sup>. Il concetto di libera autodeterminazione rilevante non sarebbe, in ultima analisi, quello di *free will*, bensì quello di *free won't*: in altre parole, le volizioni negative, quali il veto al compimento di una qualsiasi azione, rappresenterebbero l'ultimo baluardo della consapevolezza.

Nel 2008, l'équipe di John-Dylan Haynes realizza una variante del compito originariamente ipotizzato da neurofisiologo di Stanford nella quale, attraverso l'uso della risonanza magnetica funzionale (e dunque con una risoluzione spaziale più alta rispetto all'elettroencefalogramma) è possibile una valutazione retrospettiva dell'evento volontario in ogni ubicazione cerebrale e per intervalli di tempo maggiori<sup>21</sup>. Pur a fronte della scarsa rilevanza motivazionale delle decisioni assunte dal soggetto esaminato in sede di test<sup>22</sup>, Haynes è fermamen-

---

<sup>20</sup>In argomento, M. DE CARO, *Analisi concettuale e scienza: il dibattito contemporaneo sul libero arbitrio*, in M. DE CARO, M. MORI, E. SPINELLI (a cura di), *Libero arbitrio. Storia di una controversia filosofica*, Roma, 2014, p. 374 s.; M. DE CARO, A. LAVAZZA, G. SARTORI, *La frontiera mobile della libertà*, in M. DE CARO, A. LAVAZZA, G. SARTORI (a cura di), *Siamo davvero liberi? Le neuroscienze e il mistero del libero arbitrio*, Torino, 2010, p. VII ss.; M.S. GAZZANIGA, R.I. IVRY, G.R. MANGUN, *Neuroscienze cognitive*, cit., p. 139; C. GRANDI, *Neuroscienze e responsabilità penale*, cit., p. 49.

<sup>21</sup>L'orologio rotatorio utilizzato decenni prima per l'individuazione del momento esatto di comparsa dell'impulso è sostituito con una sequenza randomizzata di lettere aggiornata ogni 500 millisecondi su uno schermo, a garanzia di una maggiore precisione nelle misurazioni temporali. Ciò che è nuovamente emerso è l'esistenza di una soglia temporale minima da superare per giungere alla percezione di un impulso, ma, stavolta, di durata maggiore rispetto a quella calcolata decenni prima da Libet. I risultati dell'impulso ad agire possono infatti essere codificati nell'attività cerebrale fino a dieci secondi prima che varchino il *limen* del flusso di coscienza. Per una puntuale descrizione dell'esperimento si rinvia a J. HAYNES, *Posso prevedere quello che fai*, in M. DE CARO, A. LAVAZZA, G. SARTORI (a cura di), *Siamo davvero liberi?*, cit., p. 8 ss.

<sup>22</sup>Una delle maggiori critiche rivolte a questo tipo di esperimento riguarda la discutibile capacità rappresentativa dei movimenti elementari oggetto dei test rispetto alle ben più complesse scelte operate dall'uomo nella vita quotidiana. Semplici flessioni di dita o gesti semiautomatici compiuti in sede di laboratorio, privi di qualsivoglia componente motivazionale ed emozionale, sarebbero forse capaci di fornire risposte in ordine alla rilevanza della volizione nelle decisioni umane? Per Isabella Merzagora Betsos è certamente una domanda retorica, alla quale non si può che rispondere in senso negativo. Sul punto, I. MERZAGORA BETSOS, *Colpevoli si nasce?*, Milano, 2012, p. 95 e analogamente R. DE MONTICELLI, *Che cos'è una scelta? Fenomenologia e neurobiologia*, in M. DE CARO, A. LAVAZZA, G. SARTORI (a cura di), *Siamo davvero liberi?*, cit., p. 124 ss. Anche L. BOELLA, *La morale*

te convinto che l'intuizione della psicologia secondo la quale le decisioni conservino profili di libertà e non siano interamente determinate dall'attività cerebrale sia implausibile da un punto di vista scientifico. I risultati dimostrano ancora una volta come una cascata di processi cerebrali inconsci «si dispiega in alcuni secondi e contribuisce a preparare decisioni esperite soggettivamente come libere e assunte in un momento stabilito dal soggetto»<sup>23</sup>. In breve, l'esperimento di Libet sul *free will*, prima, e a seguire gli studi di Haynes supportati dalle tecniche di *neuroimaging* funzionale darebbero conto – innescando un acceso dibattito in merito – di come il cervello possa sviluppare decisioni ancor prima che queste raggiungano lo stato di consapevolezza<sup>24</sup>.

## 2.1. Segue: le neuroscienze cognitive oggi

L'espressione “neuroscienze cognitive”, stando a un curioso aneddoto illustrato da M. Gazzaniga nell'opera omonima, fu concepita in un *taxi* di New York, mentre lo scienziato e l'eminente studioso di psicologia cognitiva George A. Miller si recavano a un evento che riuniva esperti di due prestigiose Università, la Rockefeller e la Cornell University, impegnati a scoprire in che modo i pensieri e le idee della mente potessero derivare dal funzionamento del cervello. A tale nuovo campo di studio fu dato il nome di “neuroscienze cognitive” per richiamare il concetto del processo della conoscenza associato all'analisi dell'organizzazione e del funzionamento del sistema nervoso<sup>25</sup>.

---

*prima della morale*, Milano, 2008, pp. 36-37, ritiene che occorra tenere bene a mente come «gli scenari degli esperimenti sono per forza di cose molto semplificati [...] e quindi ben lontani da situazioni di vita reale. Essi riproducono uno strato sottile del comportamento umano e lo scopo di una ricerca di laboratorio è conoscitivo e non si propone certo di predire le svariate condotte adottate dalle persone nel mondo reale».

<sup>23</sup> J.D. HAYNES, *Posso prevedere quello che fai*, cit., p. 16.

<sup>24</sup> Cfr. C.S. SOON, M. BRASS, H.J. HEINZE, J.D. HAYNES, *Unconscious Determinants of Free Decisions in the Human Brain*, in *Nature Neuroscience*, 2008, n. 11, p. 543, il cui *abstract* recita: «There has been a long controversy as to whether subjectively 'free' decisions are determined by brain activity ahead of time. We found that the outcome of a decision can be encoded in brain activity of prefrontal and parietal cortex up to 10 s before it enters awareness. This delay presumably reflects the operation of a network of high-level control areas that begin to prepare an upcoming decision long before it enters awareness».

<sup>25</sup> V. M.S. GAZZANIGA, R.I. IVRY, G.R. MANGUN, *Neuroscienze cognitive*, cit., pp. 2-3; E.R. KANDEL, *L'età dell'inconscio. Arte, mente e cervello dalla grande Vienna ai nostri giorni*, Milano, 2012, p. 50.

Così come intese oggi, le neuroscienze cognitive derivano dall'embricazione di quattro principali metodi tecnici e concettuali di analisi della mente. Il primo metodo, messo a punto fra gli anni 1960 e 1970, riguarda studi microelettrici che hanno permesso ai ricercatori Wurtz ed Evarts di correlare l'attività di alcune popolazioni di cellule nervose a determinati processi percettivi e motori e hanno favorito l'accertamento dell'importanza di gruppi di aree cerebrali implicate in funzioni quali l'attenzione e i processi decisionali. Il secondo è proprio della neuropsicologia, la quale, ormai confluita nell'alveo delle neuroscienze cognitive, identifica le caratteristiche di una data patologia (dalle lesioni cerebrali acquisite, ai disturbi congeniti o di tipo psichiatrico) e sviluppa test atti a isolare disturbi intellettivo-cognitivi e quantificarne l'intensità ai fini di un recupero riabilitativo. Ancora, le moderne tecniche di visualizzazione cerebrale, hanno consentito di mettere in relazione, *in vivo*, numerose modificazioni neurali con gli stati mentali; infine, lo sviluppo delle neuroscienze computazionali ha condotto alla costruzione di modelli di grandi popolazioni neuronali, rendendo così possibile la verifica sperimentale del ruolo dei componenti dei circuiti nervosi in specifiche forme di comportamento. L'analisi combinata dei dati forniti dalle neuroscienze computazionali associate agli studi psicofisici di uno specifico atto percettivo può contribuire all'individuazione delle proprietà tipiche di un sistema neuronale<sup>26</sup>.

Più che come una vera e propria disciplina specifica "con rigidi limiti di azione"<sup>27</sup>, le neuroscienze cognitive si configurano come un quadro teorico di riferimento dalla natura ibrida, prodotto della convergenza di differenti piani di indagine. L'approccio multidisciplinare allo studio dei rapporti fra i prodotti mentali e il funzionamento del cervello si concreta nell'adozione di metodologie sperimentali e strumenti di indagine afferenti alle varie branche coinvolte quali la biologia cellulare, le neuroscienze dei sistemi, la visualizzazione cerebrale *in vivo*, la psicologia cognitiva, la neurologia comportamentale e le neuroscienze computazionali.

L'obiettivo precipuo di questo sapere consiste nell'indagare le matrici delle scelte morali, le basi neurali delle condotte umane e le loro condizioni genetiche di sviluppo. Per quanto necessario, il mero approccio cellulare non è però sufficiente per comprendere come l'atti-

---

<sup>26</sup> Cfr. M.S. GAZZANIGA, R.I. IVRY, G.R. MANGUN, *Neuroscienze cognitive*, cit., pp. 372-373.

<sup>27</sup> A. MARINI, *Che cosa sono le neuroscienze cognitive*, Roma, 2016, p. 14.

vità simultanea di aggregati neurali si trasformi in conoscenze. La chiave di volta, individuata dalle neuroscienze cognitive, idonea a decrittare il meccanismo suddetto è la visione del sistema nervoso centrale come un organo che trasforma, elabora, immagazzina, recupera e, infine, utilizza le informazioni sensoriali. Queste ultime, d'altra parte, sono sì un prodotto degli organi sensoriali, ma la loro comprensione è il risultato di una complessa interazione tra processi<sup>28</sup>.

### 3. *Tecniche neuroscientifiche di esplorazione cerebrale*

Le tecniche sempre più accurate sviluppatasi nell'ultimo ventennio – dagli elettrodi e sistemi di registrazione volti a misurare l'attività elettrica di un gruppo di neuroni, ai metodi adoperati per lo studio delle funzioni durante l'elaborazione cognitiva – hanno indubbiamente favorito un'interpretazione dei fenomeni mentali secondo una grana sempre più fine grazie al fondamentale contributo prestato nell'individuazione dei correlati anatomofisiologici del comportamento umano.

Con riferimento a tali tecniche la dottrina processual-penalistica più attenta individua un criterio classificatore che fa perno sul contributo che la specifica prova neuroscientifica può offrire all'interprete e che adopereremo in questa sede sia per la chiarezza concettuale che lo caratterizza, sia perché ci agevola nel tracciare la direzione del discorso che svilupperemo nei capitoli successivi<sup>29</sup>. In base a tale criterio è possibile operare una distinzione tra le differenti prove neuroscientifiche a seconda che le tecniche adoperate siano atte a vagliare

---

<sup>28</sup> L'approccio cognitivo si fonda sul postulato secondo il quale l'elaborazione delle informazioni sensoriali dipende da rappresentazioni mentali interne, soggette, a loro volta, a mutazioni. All'approfondimento del tema è dedicato il terzo capitolo di M.S. GAZZANIGA, R.I. IVRY, G.R. MANGUN, *Neuroscienze cognitive*, cit.

<sup>29</sup> V. P. FERRUA, *Neuroscienze e processo penale*, in O. DI GIOVINE (a cura di), *Diritto penale e neuroetica*, Padova, 2013, p. 264 ss.; C. CONTI, *La prova scientifica*, in P. FERRUA, E. MARZADURI, G. SPANGHER (a cura di), *La prova penale*, Torino, 2013, p. 100; P. TONINI, C. CONTI, *Il diritto delle prove penali*, Milano, 2014, p. 194 ss.; A. CORDA, *Neuroscienze forensi e giustizia penale tra diritto e prova (Disorientamenti giurisprudenziali e questioni aperte)*, in *Arch. pen. (Rivista web)*, 2014, n. 3, p. 6 ss.; ID., *La prova neuroscientifica. Possibilità e limiti di utilizzo in materia penale*, in *Ragion pratica*, 2016, n. 2, p. 362 ss.; C. GRANDI, *Neuroscienze e responsabilità penale*, cit., p. 4 ss.

le condizioni neurologiche del soggetto che si sottopone all'esame<sup>30</sup> (e rappresenti così l'oggetto della prova) o che siano deputate a sondare l'attendibilità del soggetto dichiarante<sup>31</sup> (che da oggetto diviene in tal modo fonte di prova).

### 3.1. *Tecniche di esplorazione funzionale*

Tra le tecniche volte a indagare le condizioni neurologiche dell'individuo, la fMRI (*Functional Magnetic Resonance Imaging*) e la PET (*Positron Emission Tomography*) rappresentano senza dubbio le due più importanti nell'ambito delle neuroimmagini funzionali<sup>32</sup>. Le moderne metodologie di esplorazione funzionale rilevano le variazioni emodinamiche e metaboliche correlate con l'attività neurale: fondandosi – precisamente – sulla anzidetta connessione biochimico-fisiologica, esse consentono di misurare in modo non invasivo il consumo di glucosio e il flusso ematico con apprezzabile risoluzione temporale e spaziale, rendendo all'esperto un riscontro coerente dei correlati neurali.

La tomografia a emissione di positroni (PET) misura l'attività me-

---

<sup>30</sup> In questa prima categoria confluiscono sia le tecniche di neuroimmagine statiche, idonee a identificare eventuali lesioni, anomalie o alterazioni morfologiche dell'encefalo, sia le tecniche di neuroimmagine dinamiche, le quali, attraverso la rilevazione di variazioni emodinamiche e metaboliche, misurano le attivazioni delle diverse aree cerebrali e ne studiano la funzione. Tra le prime tecniche di *neuroimaging* strutturale ritroviamo la radiografia, la tomografia assiale computerizzata (TAC), e la risonanza magnetica nucleare (MRI). Nel secondo gruppo di *neuroimaging* funzionale confluiscono sia le tecniche a misura diretta, che valutano l'attività elettrica dei neuroni, quale ad esempio l'elettroencefalogramma (EEG) sia le tecniche a misura indiretta che analizzano le variazioni del flusso sanguigno o dell'attività metabolica all'interno dell'encefalo quali la tomografia ad emissione di positroni (PET) e la risonanza magnetica funzionale (fMRI).

<sup>31</sup> È il caso delle neuroimmagini atte a saggiare la sincerità del dichiarante rispetto a precise proposizioni fattuali o volte a rintracciare le c.d. «impronte mentali» (*brain fingerprinting*) così da valutare la pregressa familiarità del dichiarante rispetto a determinate immagini. Sempre in quest'ambito, ritroviamo l'*autobiographical Implicit Association Test*, (a-IAT) e il *Timed Antagonistic Response Alethiometer* (TARA), adoperati in sede forense e sviluppati sul prototipo dell'*Implicit Association Test* (IAT) ossia su un test sul ricordo autobiografico avente ad oggetto ricordi, opinioni e propensioni della persona che vi si sottopone.

<sup>32</sup> Senza alcuna pretesa di completezza o esaustività, nel presente paragrafo ci limiteremo alla sommaria illustrazione delle due tecniche non invasive di esplorazione funzionale più frequentemente utilizzate, al solo scopo di comprendere in che modo esse contribuiscano a far luce sui meccanismi neuro-fisiopatologici.

tabolica – seppure in termini relativi – del cervello grazie al monitoraggio delle radiazioni emesse dal tracciante radioattivo introdotto nel circolo sanguigno del soggetto. Nella procedura più comune è iniettata acqua marcata con ossigeno radioattivo: gli isotopi contenuti nel tracciante, a causa della loro instabilità, decadono rapidamente e i positroni, emessi dal nucleo atomico, collisi con gli elettroni, generano due fotoni o raggi gamma che si muovono in direzioni opposte attraversando l'intero tessuto cerebrale. Lo scanner PET rileva i fotoni e ne calcola la sorgente: la radiazione sarà maggiore nelle regioni cerebrali in cui vi è più afflusso di sangue, a sua volta proporzionale all'intensità dell'attività neurale. L'iniezione dell'agente radioattivo è somministrata in genere, una prima volta, in una condizione di controllo e, una seconda, in una condizione sperimentale.

Il risultato si sostanzia in una differenza nel flusso sanguigno cerebrale regionale nelle persone impegnate o meno in un dato compito cognitivo. È una procedura che richiede un margine di tempo idoneo a rilevare sufficienti radiazioni per garantire un'adeguata qualità delle immagini. Per tale motivo si adoperano i cosiddetti esperimenti con disegni a blocchi che comportano che il soggetto sottoposto a PET sia impegnato in un preciso compito sperimentale per almeno 40 secondi o, in alternativa, che sia sottoposto a un dato stimolo. Il *pattern*<sup>33</sup> di attività registrato è così posto a confronto con i modelli registrati negli altri blocchi ed è possibile, quindi, operare una comparazione delle regioni coinvolte nell'esecuzione di compiti o nella ricezione di stimoli<sup>34</sup>.

---

<sup>33</sup> Termine tecnico adoperato nell'ingegneria per indicare uno schema o un modello.

<sup>34</sup> Un esempio, a scopo chiarificatore, è offerto da uno studio condotto su soggetti volontari invitati ad evocare, immaginariamente, quattro distinti stati affettivi, di cui tre caratterizzati da un sentimento di aggressività correlati ad eventuali situazioni di pericolo alle quali l'esaminando doveva reagire passivamente o attivamente. Il confronto tra i dati emersi a seguito del comportamento assunto, ha permesso di isolare la risposta cerebrale associata all'evocazione dell'aggressività. Dalle neuroimmagini emergeva, in occasione della risposta aggressiva, una significativa diminuzione del flusso ematico nella corteccia orbitofrontale mediale e un suo incremento nelle regioni occipitali visive e nel cingolo, a dimostrazione del ruolo svolto da parte della corteccia orbito frontale nella modulazione del comportamento aggressivo e della sua funzione inibitoria. Si veda, sul punto, P. PIETRINI, V. BAMBINI, *Il contributo delle neuroscienze alla comprensione dei comportamenti aggressivi e criminali*, in A. BIANCHI, G. GULOTTA, G. SARTORI (a cura di), *Manuale di neuroscienze forensi*, cit., pp. 51-53 che a sua volta attinge dati empirici dall'articolo di P. PIETRINI, M. GUAZZELLI, G. BASSO, K. JAFFE, J. GRAFMAN, *Neural correlates of imaginal aggressive behavior assessed by positron emission*