



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Scuola di Psicologia

Corso di laurea in Scienze Psicologiche Sociali
e del Lavoro

Tesi di laurea triennale

**L'attività neuronale in prossimità della morte: un'analisi della
letteratura su modelli animali e casi clinici.**

Relatore:
Prof. *Christian Agrillo*

Laureanda: Anna Toson
Matricola: 1165873

Anno Accademico 2021/2022

INDICE

Abstract.....	2
English abstract.....	3
Introduzione.....	4
Capitolo 1: Definire e diagnosticare la morte.....	7
1.1: Cos'è la morte e come è cambiata la sua definizione nel tempo.....	7
1.2: Diagnosi e accertamento.....	9
Capitolo 2: Attività cerebrale al momento del decesso.....	11
2.1: Sperimentazioni su modelli animali.....	12
2.2: Studi su casi clinici.....	17
2.3: Analisi e interpretazione dei risultati.....	24
Conclusioni.....	26
Bibliografia.....	28
Sitografia e videografia.....	29

ABSTRACT

In questo lavoro si vuole affrontare una tematica delicata e spaventosa come la morte da un punto di vista puramente scientifico, soffermandosi in particolare sulle dinamiche che interessano il cervello, e i neuroni, in questa fase.

Dopo una breve panoramica su come definire e diagnosticare la morte, e su come siano cambiati nel tempo i criteri per verificarla, si passerà a una sintesi degli studi in materia, analizzando esperimenti eseguiti su modelli animali e informazioni ottenute dallo studio di casi clinici umani. In base ai risultati ottenuti ciò che sembra accadere è che il cervello continui a funzionare dopo che è avvenuta la morte cardiaca, e i neuroni restino attivi per diversi minuti dopo il decesso, producendo picchi di onde cerebrali particolarmente elevati e dando il via a una depolarizzazione diffusa, dovuta alla mancanza di ossigeno, che provocherebbe poi necrosi cellulare.

Queste scoperte potrebbero portare nuova consapevolezza nel mondo scientifico, attribuendo significati logici anche alle esperienze di pre-morte, e restituendo una certa immanenza al concetto di anima e di resurrezione.

ENGLISH ABSTRACT

The purpose of this work is to address a delicate and frightening issue, such as death, from a purely scientific point of view, focusing in particular on the dynamics that affect the brain, and neurons, in this phase.

After a brief overview on how to define and diagnose death, and how the criteria for verifying it have changed over time, we will move on to a summary of the studies on the subject, analyzing experiments performed on animal models and information obtained from the study of human clinical cases. According to the results, what appears to be happening is that the brain continues to function after cardiac death has occurred, and the neurons remain active for several minutes after death, producing particularly high brain wave spikes and triggering a widespread depolarization, due to the lack of oxygen, which would lead to cellular necrosis.

These discoveries could bring new awareness in the scientific world, giving logical meanings also to near-death experiences, and restoring a certain immanence to the concept of soul and resurrection.

INTRODUZIONE

Storicamente, la morte è sempre stata un fenomeno di difficile comprensione dietro cui è nata una molteplicità di interpretazioni e riflessioni, dovute essenzialmente al sentimento di angoscia che il morire provoca negli esseri umani. Tutto ciò nasce dal fatto che la morte è incontrollabile, imprevedibile e soprattutto definitiva: questo genera un enorme senso d'incertezza, e apre la strada a diverse problematiche a cui tentiamo di rispondere con teorie di ogni tipo.

Possiamo quindi attribuire al “morire” significati religiosi/spirituali, e interpretarlo come un passaggio a un'altra vita, una sorta di rinascita o una reincarnazione della nostra anima; oppure possiamo analizzare il fenomeno da un punto di vista filosofico, cercando di comprenderne la natura e l'eventuale significato; o ancora possiamo cercare di studiarlo in modo del tutto scientifico, focalizzando l'attenzione sui processi che lo precedono e lo accompagnano piuttosto che sulla sua natura o sul cosa sarà dopo.

Ad alimentare il senso di soprannaturalità e mistero legati alla morte, hanno contribuito, tra le altre cose, i racconti di esperienze pre-morte (NDE, near death experiences) riportati da persone che sono sopravvissute a condizioni molto vicine al decesso: raccontano solitamente di aver vissuto sensazioni di estrema beatitudine, di aver avuto esperienze extracorporee o percezioni della realtà semi-coscienti, e addirittura talvolta di aver ricordato improvvisamente i momenti più significativi della propria vita.

Tutto ciò viene spiegato da religioni e correnti spiritualistiche come una sorta di preambolo di ciò che avverrà dopo, oppure è interpretato come il momento di distacco dell'anima che 'si separa' dal corpo per rinascere in forma diversa o lasciare questo mondo.

Scientificamente parlando, non esiste ancora una spiegazione univoca e sicura di queste esperienze, ma la ricerca sta lavorando in questa direzione e sta facendo enormi passi avanti.

È ormai risaputo, e ampiamente dimostrato, che le nostre funzioni vitali sono guidate soprattutto dall'encefalo e dai collegamenti neuronali che lo compongono, e che possiamo dichiarare “definitivamente morto” un organismo solamente quando tutte le funzioni cerebrali si estinguono (cosa che non coincide sempre con l'arresto cardiaco o respiratorio, poiché ad oggi è possibile mantenere in vita un soggetto anche attraverso pratiche di rianimazione e terapia intensiva). Ma cosa accade di preciso nel nostro cervello quando si spegne del tutto? Come si comportano i neuroni negli istanti che accompagnano il decesso?

Negli ultimi decenni i professionisti in materia neurologica (e non solo) hanno cercato di rispondere a queste domande, basandosi fino a pochi anni fa solamente sugli studi effettuati su animali e sui racconti di NDE. Di recente però sono riusciti ad ottenere dei dati specifici monitorando alcuni cervelli umani, i quali hanno confermato la presenza di attività cerebrale per diversi minuti dopo l'arresto cardiaco, e hanno addirittura evidenziato delle attività neuronali particolarmente elevate nei secondi che precedono lo spegnimento totale, con picchi di attivazione soprattutto nelle onde di tipo gamma (associate ad attività cerebrali come sogno e memoria).¹ Hanno rilevato, inoltre, che lo spegnimento finale sarebbe causato da un'onda improvvisa di energia elettrochimica che attraversa il cervello pochi istanti prima della sua morte: una depolarizzazione diffusa dei neuroni a cui è stato attribuito il nome di *tsunami cerebrale* e che rappresenterebbe una sorta di ultima intensa scarica che i neuroni trasmettono prima di spegnersi completamente.²

¹ Frontiers in Aging Neuroscience, Sec. Neurocognitive Aging and Behavior, “Enhanced Interplay of Neuronal Coherence and Coupling in the Dying Human Brain”, Febbraio 2022

² Annals of Neurology, volume 83, Issue 2, “Terminal spreading depolarization and electrical silence in death of human cerebral cortex”, Gennaio 2018

Queste scoperte sarebbero in grado di fornire una spiegazione scientifica alle sensazioni provate nelle esperienze pre-morte, dando credito all'ipotesi che queste sarebbero prodotte proprio da picchi di attivazione cerebrale, i quali inducono esperienze simili a quelle che sperimentiamo nei sogni o stimolano il richiamo alla memoria di ricordi significativi.

Proseguendo in questa direzione, la conferma di tale ipotesi potrebbe addirittura portare un'argomentazione contraria allo storico dualismo mente-corpo promosso dalle visioni religiose e spiritualistiche: il fatto che anche esperienze come quelle pre-morte siano derivate da oscillazioni a livello neurale sarebbe un ulteriore tassello per confermare che l'anima non è qualcosa di astratto e ultraterreno, separato dal corpo, ma è in realtà una sorta di prodotto cerebrale, generato e tenuto in vita assieme al corpo stesso, più vicina al concetto di "coscienza" che a quello di "spirito/fantasma".

Inoltre, i progressi ottenuti in questo ambito lasciano ben sperare per il futuro, sia perché aprono la strada a ulteriori e più accurate sperimentazioni, sia perché conoscendo a fondo questo fenomeno si potrebbero sviluppare, in futuro, strategie di trattamento atte a prolungare l'attività neuronale e/o invertirne la depolarizzazione, fino anche a ritardare o addirittura fermare il decesso.

1. DEFINIRE E DIAGNOSTICARE LA MORTE

1.1 Cos'è la morte e com'è cambiata la sua definizione nel tempo.

La morte è, per definizione, la cessazione delle funzioni vitali nell'uomo, negli animali e in ogni altro organismo vivente o elemento costitutivo di esso³.

Definire se e quando le funzioni vitali siano del tutto cessate non è, però, così semplice, e ci sono voluti decenni di sviluppo medico-scientifico per arrivare a definire i criteri che oggi vengono adottati per diagnosticare la morte negli esseri umani.

Dal punto di vista strettamente medico, infatti, la morte è una *diagnosi*, che risponde appunto a specifici criteri cardiologici, respiratori e neurologici per i quali può -o meno- essere confermata in un essere umano. Oggi è noto che per poter dichiarare “morto” un organismo, anche a livello giuridico, è fondamentale la rilevazione di cessazione irreversibile di tutte le attività dell'encefalo⁴ (quella che viene definita *morte cerebrale*); rilevazione che avviene in un periodo di tempo di diverse ore, ad opera di diversi specialisti e con l'utilizzo di diverse tecniche.

Non è però sempre stato così. Prima dell'avvento della medicina scientifica, infatti, dichiarare la morte non era un processo così preciso e regolamentato, e non richiedeva specifiche rilevazioni con specifici strumenti: si era morti quando era evidente che non si rispondeva agli stimoli, non si respirasse e non si avesse battito cardiaco (*morte clinica*).

I primi cambiamenti in merito avvennero a partire dalla seconda metà del 1900, soprattutto grazie alla nascita delle unità di terapia intensiva, che usavano la ventilazione meccanica per mantenere attive la respirazione e la circolazione in corpi che altrimenti sarebbero morti per

³ Enciclopedia Treccani, On-line, <https://www.treccani.it/enciclopedia/ricerca/morte/>, (consultato il 20 Luglio 2022).

⁴ In Italia, secondo la Legge n.578 del 29 dicembre 1993 “Norme per l'accertamento e la certificazione di morte”

arresto cardiaco. Questo rivoluzionò il modo di intendere la morte e sollevò una serie di questioni sulla definizione della stessa, incentrate soprattutto sulla constatazione che l'attività cerebrale potesse continuare anche quando le funzioni respiratorie e circolatorie si arrestavano. Si accesero di conseguenza diversi dibattiti, soprattutto in ambito legislativo, poiché stabilire con chiarezza se un cervello potesse ancora potenzialmente attivarsi o meno non fu subito facile: come si poteva verificare se il paziente fosse in stato di coma reversibile (quindi con possibilità di riattivazione cerebrale) o di coma irreversibile (quindi definitivamente morto)?

La svolta definitiva avvenne in seguito ad un articolo, pubblicato nel 1968 da un comitato di ricercatori di Harvard, intitolato "*A Definition of Irreversible Coma – Report of the Ad Hoc Committee of Harvard Medical School to Examine the Definition of Brain Death*". Lo scopo principale dell'articolo, come si legge nell'abstract, è quello di "definire il coma irreversibile come nuovo criterio per la morte", distinguendolo quindi da quello reversibile. La condizione da soddisfare per poter dichiarare lo stato di coma irreversibile individuata in questo lavoro è sostanzialmente l'assenza di attività in tutte le parti del cervello (tronco compreso). A sua volta tale condizione si declina in: assenza di attività respiratoria e movimenti autonomi, assenza di riflessi legati all'attività dei nervi cranici per almeno 24 ore ed esclusione di ogni possibile causa reversibile per quanto sopra.

Questi criteri si sono diffusi col nome di "Criteri di Harvard" nella comunità medica e in quella legale, e hanno fornito finalmente una definizione univoca di morte che si differenziava da quella solamente cardiaca/respiratoria, introducendo di fatto la concezione di morte encefalica. Negli ultimi anni i vari Stati hanno adottato criteri più specifici e precisi per accertare la cessazione di attività cerebrale e definire "deceduto" un organismo; criteri che però non sono molto distanti a livello di definizione da quelli di Harvard, a dimostrazione che è ad essi che

dobbiamo la scoperta e la definizione della morte cerebrale e la possibilità di distinguerla da quella cardio-respiratoria.

1.2 Diagnosi e accertamento

Compresa la differenza tra morte cardio-respiratoria e morte cerebrale, cerchiamo di capire nello specifico come avviene quest'ultima e quando è possibile diagnosticare effettivamente lo stato di morte.

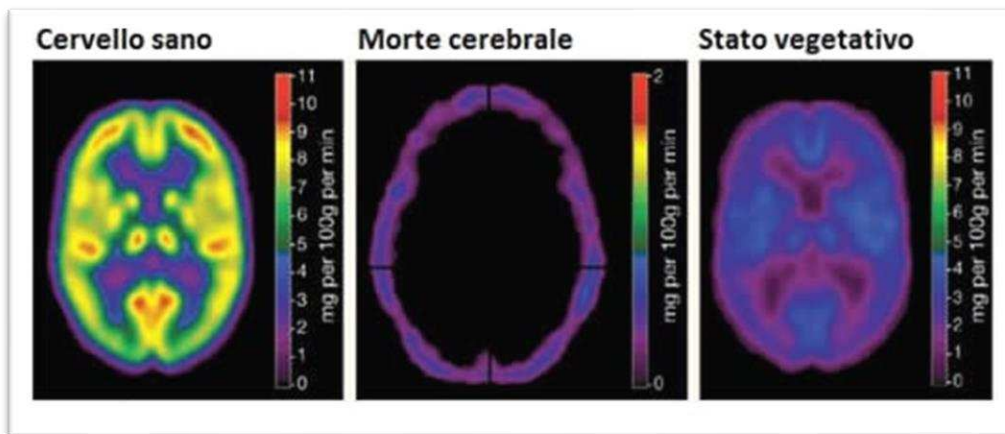
In Italia, come precedentemente accennato, i criteri sono stabiliti dalla Legge n.578 del 1993 che regola le norme per l'accertamento e la certificazione di morte.

Nell'articolo 2 di tale legge si legge:

“1. La morte *per arresto cardiaco* si intende avvenuta *quando la respirazione e la circolazione sono cessate per un intervallo di tempo tale da comportare la perdita irreversibile di tutte le funzioni dell'encefalo* e può essere accertata con le modalità definite con decreto emanato dal Ministro della sanità.

2. La morte *nei soggetti affetti da lesioni encefaliche e sottoposti a misure rianimatorie* si intende avvenuta *quando si verifica la cessazione irreversibile di tutte le funzioni dell'encefalo* ed è accertata con le modalità clinico-strumentali definite con decreto emanato dal Ministro della sanità. ...”

È chiaro quindi che, in entrambi i casi, il punto fondamentale è la cessazione definitiva, irreversibile, di tutte le funzioni encefaliche (sia essa causata da precedente morte cardiaca o da lesioni a livello cerebrale). Il cervello e il tronco non devono quindi presentare attivazione cellulare di alcun tipo, i neuroni devono essere del tutto morti (condizione di “silenzio cerebrale”).



Risonanza magnetica a contrasto che confronta un cervello sano con uno in stato vegetativo e uno completamente morto. In quello vegetativo le cellule sono ancora attive, ma in maniera latente e senza coscienza; mentre in stato di morte cerebrale tutte le cellule sono completamente inattive

(da <https://www.nature.com>)

Rifacendosi alla legislazione sopracitata, se vengono utilizzati criteri cardiologici, le modalità prevedono che sia effettuato un elettrocardiogramma per almeno 20 minuti consecutivi, il quale non deve registrare alcuna attività cardiaca (accertamento indiretto della morte cerebrale, avvenuta per assenza prolungata di flusso).

Se invece si utilizzano criteri neurologici, per diagnosticare la morte è necessario che si verifichino le seguenti condizioni:

- Assenza di coscienza;
- Assenza di attività elettrica nella corteccia cerebrale (misurata attraverso elettroencefalogramma piatto per almeno 30 minuti e almeno 3 volte);
- Assenza totale di respirazione spontanea dopo la massima stimolazione (verificata attraverso test dell'apnea);
- Assenza di tutti i riflessi del tronco encefalico (misurata attraverso stimolazione dei nervi cranici).

Queste prove devono essere effettuate da un collegio di tre medici specialisti (medico legale, anestesista-rianimatore e neurofisiopatologo) e ripetute per almeno due volte in un periodo di osservazione di almeno sei ore.

Concordano inoltre perfettamente coi Criteri di Harvard precedentemente citati, e dimostrano ancora una volta l'attuale efficacia scientifica di questi, oltre a costituire uno strumento preciso e inconfutabile di accertamento di morte.

2. ATTIVITA' CEREBRALE AL MOMENTO DEL DECESSO

Nonostante gli indubbi progressi in merito a diagnosi e accertamento della morte, restano ancora alcune questioni aperte riguardo alla specifica attività cerebrale che la accompagna: ci si chiede, in particolare, cosa accada ai neuroni e alle connessioni cerebrali e come possiamo spiegarci questi fenomeni.

Disponiamo ad oggi di pochi studi empirici per quanto riguarda gli esseri umani, soprattutto per le difficoltà nell'effettuare sperimentazione in questo senso (è molto difficile, per questioni pratiche ed etiche, ottenere una registrazione continua dell'attività cerebrale nel momento esatto di transizione verso la morte); ma qualche dato è stato registrato, anche se per lo più casualmente.

L'ipotesi maggiormente accreditata, e supportata dagli studi eseguiti su animali, è che a pochi minuti dall'arresto cardiaco ci sia un picco di attività neuronale: una sorta di scarica improvvisa e molto forte di scosse elettriche che attraverserebbe l'intera corteccia cerebrale, e che correlerebbe con il decesso definitivo.

Possiamo innanzitutto suddividere gli studi in materia in due macrocategorie: le sperimentazioni eseguite su animali e gli studi portati a termine su casi clinici umani.

2.1 Sperimentazioni su modelli animali

I primi esperimenti ad avere come tema morte e resurrezione avevano lo scopo principale di comprendere meglio quale fosse il fondamento della vita e se fosse possibile restituire vitalità a un corpo morto: inizialmente non c'era un interesse diretto nei confronti dei neuroni e del loro comportamento, ma si capì già dall'inizio del secolo scorso che gli impulsi elettrici erano fondamentali per la vitalità di un corpo, oltre ovviamente alla presenza di ossigeno.

Tra i più macabri, e sicuramente poco etici, di questi esperimenti troviamo una serie di prove condotte nell'ex Urss, in cui gli appartenenti all'Unione Sovietica praticavano pratiche piuttosto particolari per provare a rianimare singoli organi o intere parti del corpo di animali. Conosciamo in particolare, grazie ad alcuni documenti video oppure a testimonianze dirette⁵, le pratiche condotte da S.S. Bryukhonenko, da V. Demikhov e R. White.

Bryukhonenko si concentrò in particolare sulla rianimazione di organi (polmoni, fegato, cuore) di cani morti, che egli eseguiva collegandoli a particolari macchinari meccanici, e si spinse al limite dell'immaginabile quando rianimò un'intera testa di cane mozzata, agganciandola a una macchina di sua invenzione che riproduceva le attività di cuore e polmoni (autojector).

In questo caso, probabilmente l'encefalo del cane non aveva subito particolari lesioni, e l'animale era morto per arresto cardio-circolatorio; perciò, è stato sufficiente ripristinare queste funzioni perché le cellule cerebrali riprendessero a funzionare, assieme ai collegamenti neuronali, e rendessero cosciente l'animale (o quel che ne restava). Nel documentario, infatti,

⁵ Documentario "*Experiments in the Revival of Organism*" – 1940, Unione Sovietica e altri video conservati negli archivi pubblici russi; intervista di White alla BBC

si vede chiaramente che la testa del cane reagisce a stimoli esterni, siano essi visivi, uditivi od olfattivi, a dimostrazione che le funzioni dei neuroni sensoriali e cerebrali sono state correttamente ripristinate.

Sulle orme del collega, Demikhov e White condussero esperimenti simili, ma spostandosi più verso quelli che saranno gli antecedenti della trapiantologia: a differenza di Bryukhonenko non usarono congegni meccanici per rianimare parti del corpo, ma trapiantarono le teste di alcuni animali (rispettivamente venti cani e una scimmia) sul corpo di altri della stessa specie.

In entrambi i casi gli animali morirono al massimo dopo qualche giorno a causa del rigetto dei tessuti, ma questi esperimenti furono comunque di fondamentale importanza per il progresso nel campo dei trapianti di organi.

Queste pratiche, pur non avvicinandosi neppure a indagare come avvenga la morte cerebrale e come si comportino i neuroni, dimostrano chiaramente che questi ultimi restano in attività anche dopo che sono cessate le funzioni cardio-respiratorie, e che possono essere riportati/mantenuti in funzione se queste ultime vengono ripristinate (come accade nel caso della terapia intensiva, scoperta non molti anni dopo).

I primi veri risultati per quanto riguarda i neuroni nello specifico, sono stati ottenuti nel 2013 attraverso uno studio eseguito dall'Università del Michigan sul cervello di nove ratti. La sperimentazione è stata condotta anestetizzando gli animali e inducendo loro un attacco cardiaco, per poi analizzarne l'attività cerebrale. Lo strumento di analisi era un'elettroencefalografia (EEG, registrazione dell'attività elettrica del cervello) e l'ipotesi indagata era che il cervello continuasse a funzionare, e quindi che i neuroni fossero attivi, anche dopo la morte cardiaca, cosa che i risultati hanno ampiamente dimostrato, registrando la presenza di attività cerebrale in tutti i ratti, anche diversi secondi dopo l'arresto. La cosa

sorprendete però è che i livelli di attività neuronale rilevati erano molto alti, anche più di quanto siano in un ratto vivo, nei primi 30 secondi dopo che il cuore si fermava. Questa sovratensione diffusa sarebbe data, secondo i ricercatori, dalla riduzione di ossigeno, o di ossigeno e glucosio, che avviene quando il cuore smette di battere, la quale stimola l'aumento di attività cerebrale. I dati ottenuti in questa sede suggeriscono, per la prima volta, che il cervello può avere un livello di attività elettrica elevata e organizzata anche in fase di pre-morte, raggiungendo addirittura la presenza di eccitazione e coscienza tipica di un cervello in condizione di veglia. Già in precedenza, uno studio condotto sui ratti ad opera di un gruppo di ricercatori dell'Università Charité di Berlino, guidati da A. Wutzler, aveva dimostrato come al momento della morte i livelli di serotonina fossero particolarmente elevati nei cervelli degli animali, confermando quindi una certa attivazione neuronale.

Lo scopo di questa sperimentazione era quello di ottenere una spiegazione plausibile per alcune delle sensazioni che venivano riferite da chi aveva vissuto esperienze pre-morte, e per farlo i ricercatori hanno somministrato del veleno a sei ratti e misurato il livello di serotonina nel momento in cui l'elettroencefalogramma diventava piatto. I risultati, pubblicati nel 2011 su *Neuroscience Letters*, mostrano livelli di serotonina triplicati rispetto al normale nel momento del trapasso. L'ipotesi sulla causa di questo aumento è che, essendo la serotonina un neurotrasmettitore con funzione -tra le altre- di protezione dei neuroni, il suo rilascio renderebbe l'esperienza della morte meno dolorosa e sarebbe responsabile delle sensazioni di beatitudine e serenità vissute durante le NDE. Questi risultati confermano inoltre la presenza di attività neuronale elevata durante la morte, con picchi che superano addirittura i livelli presenti in cervelli sani.

In ottica di sviluppo futuro, si può addirittura pensare di poter rallentare, o anche invertire, il processo di morte cerebrale e ripristinare l'attività delle cellule dell'encefalo a distanza di tempo dal loro spegnimento.

In effetti, il ripristino dell'attività cerebrale dopo la sua totale scomparsa non è un'idea del tutto inesplorata: nel 2019 compare sulla rivista Nature un articolo dal titolo "Restoration of brain circulation and cellular functions hours post-mortem", in cui un gruppo di ricercatori dell'Università di Yale riporta di aver riattivato la circolazione cerebrale e l'attività cellulare all'interno di parecchi cervelli di maiale, a distanza di ore dalla loro morte.

Il metodo utilizzato si basa su una strumentazione chiamata "BrainEx", la quale consiste in un insieme di pompe, tubicini e sacche di sangue in grado di ripristinare l'ossigenazione in organi morti. I cervelli sono stati raffreddati subito dopo la macellazione e sottoposti a questa irrorazione di ossigeno quattro ore più tardi (quando ormai avevano sicuramente perso ogni forma di attività).

I risultati sono stati stupefacenti: i cervelli mostravano una significativa riduzione di morte cellulare e un ripristino parziale di alcune funzioni cerebrali, tra cui la formazione di sinapsi, durati per un tempo superiore a 30 ore.

Non bisogna confondere, però, l'attività cellulare e la formazione di sinapsi con la coscienza: infatti non ci sono tracce di conservazione o riattivazione di quest'ultima nei cervelli estratti dal corpo, che emettono onde cerebrali piatte (equivalenti a quelle di uno stato comatoso). Perciò, nonostante buona parte dei neuroni sia rimasta attiva, non è possibile che ci sia una percezione, una coscienza appunto, da parte del cervello della propria condizione.

Ancor più stupefatti lasciano poi i risultati riportati lo scorso agosto, sempre sulla rivista Nature e sempre ad opera degli stessi ricercatori: utilizzando la stessa tecnologia impiegata nel 2019,

ma modificandola per adattarla a tutti gli organi (tanto da modificarne il nome in OrganEx), sono riusciti a ripristinare, in alcuni maiali morti, non solo l'attività cerebrale ma anche l'attività cellulare di altri organi come cuore, fegato e reni.

La strumentazione pompava nei corpi degli animali, deceduti da circa un'ora, una soluzione sostitutiva del loro sangue, la quale era in grado di ritardare il processo di decomposizione dei corpi e rigenerare rapidamente le funzioni vitali in alcuni organi (un procedimento che ricorda in parte quelli adottati dai Sovietici, di cui sopra).

Anche in questo caso i ricercatori ci tengono a sottolineare che gli animali non sono tornati in vita dopo la morte, ma ciò che è tornato in vita sono "solamente" le cellule di alcuni dei loro organi.

Un esperimento simile, ma con finalità prettamente di base medica, era stato condotto anni prima a Pittsburgh da un'equipe di scienziati che ha indotto la morte in alcuni cani, per riportarli in vita tre ore dopo: è stata iniettata nelle vene degli animali una soluzione salina che sostituisse il sangue e inducesse in loro uno stato di morte apparente, per poi reinserire il sangue e far ripartire il sistema cardio-circolatorio dopo alcune ore.

Tutte queste sperimentazioni dimostrano a tutti gli effetti che il processo di morte cellulare all'interno del cervello avviene in tempi piuttosto lunghi, e confermano che è possibile ripristinare le funzioni neuronali anche dopo la morte cardiaca, in determinate condizioni favorevoli, mantenendole attive anche per molte ore dopo il decesso.

2.2 Studi su casi clinici

Per quanto riguarda dati raccolti propriamente su esseri umani, i primi in questo ambito sono arrivati nel 2016, grazie a una pura casualità. Negli Stati Uniti, un uomo di 87 anni si è recato all'ospedale in seguito a una caduta e, dopo aver subito un intervento urgente, è stato sottoposto a elettroencefalografia per monitorare le sue condizioni (poiché aveva frequentemente crisi epilettiche e necessitava di costante osservazione). Durante questo monitoraggio il paziente è morto per arresto cardiaco e ha permesso agli scienziati (coordinati da Ajmal Zeman, neurochirurgo all'Università di Louisville) di registrare per la prima volta in assoluto l'attività neurale di un uomo morente. Le procedure e i risultati sono stati pubblicati a febbraio del 2022, in un case study intitolato "Enhanced Interplay of Neuronal Coherence and Coupling in the Dying Human Brain" pubblicato sulla rivista "Frontiers in Aging Neuroscience".

La procedura e gli strumenti usati sono i seguenti: innanzitutto, gli sperimentatori hanno misurato 900 secondi di attività cerebrale, prima e dopo il momento della morte, attraverso delle registrazioni di EEG; in una seconda fase hanno indagato cosa succedesse nei 30 secondi che precedevano e seguivano all'arresto cardiaco, analizzando la potenza spettrale e l'accoppiamento a frequenze incrociate (strumenti che permettono di conoscere l'intensità delle onde cerebrali, e le modificazioni/interazioni che avvengono tra queste).

I risultati mostrano che *“Dopo l'arresto cardiaco, la potenza delle onde delta, beta, alpha e gamma è stata ridotta, ma è stata osservata una percentuale di potenza gamma più elevata rispetto a quella dell'intervallo interictale (intervallo tra una crisi epilettica e l'altra, ndr). L'accoppiamento a frequenza incrociata ha rivelato la modulazione dell'attività gamma dell'emisfero sinistro da parte delle frequenze alpha e theta, anche dopo la cessazione del*

flusso sanguigno cerebrale. L'accoppiamento più forte si osserva per l'attività gamma a banda stretta e larga modulate dalle onde alpha." (Zemmar et al, 2022, pp 8-9).

In parole povere, questi dati mostrano che le rilevazioni hanno continuato a registrare attività cerebrale anche dopo che il cuore ha smesso di battere, con notevoli oscillazioni in particolare delle onde neurali di tipo gamma, le quali avrebbero un picco relativo di potenza soprattutto nella loro componente in interazione con le onde alpha. Vediamo dunque nel dettaglio cosa sono e a cosa si associano questi tipi di onde.

Per **onde cerebrali** intendiamo delle oscillazioni ritmiche di attività elettrica che caratterizzano i neuroni del Sistema Nervoso Centrale, e sono fondamentali nelle attività cognitive e nella psicopatologia.

Le *onde gamma* sono quelle con frequenze più veloci (tra i 30 e i 42 Hz), sono legate a processi di informazione simultanea in più aree del sistema nervoso e si attivano in brevi raffiche. Sono legate a stati di alta risoluzione del cervello, oppure a stati di spiritualità, di felicità e innamoramento e ad alcune fasi del sonno REM.

Le *onde alpha* hanno invece frequenze un po' più lente (tra gli 8 e i 14 Hz), e sono associate a uno stato di rilassamento e scarsa attività cerebrale; quindi, sono presenti quando il cervello è a riposo, inattivo, ma allo stesso tempo pronto ad attivarsi se necessario.

L'interazione tra questi due tipi di onde viene invece associata all'attivazione della memoria episodica (ricordo molto specifico di eventi vissuti in prima persona).⁶

Non sarebbe errato pensare, quindi, che le sensazioni riportate durante le NDE possano avere una spiegazione di tipo neurologico ed essere causate da questi stati oscillatori di onde gamma,

⁶ L'elaborazione di informazioni è resa possibile da reti oscillatorie alpha/beta neocorticali, mentre la creazione di memoria dalle oscillazioni theta e gamma ippocampali. Queste aree cooperano e interagiscono per formare e recuperare ricordi episodici.

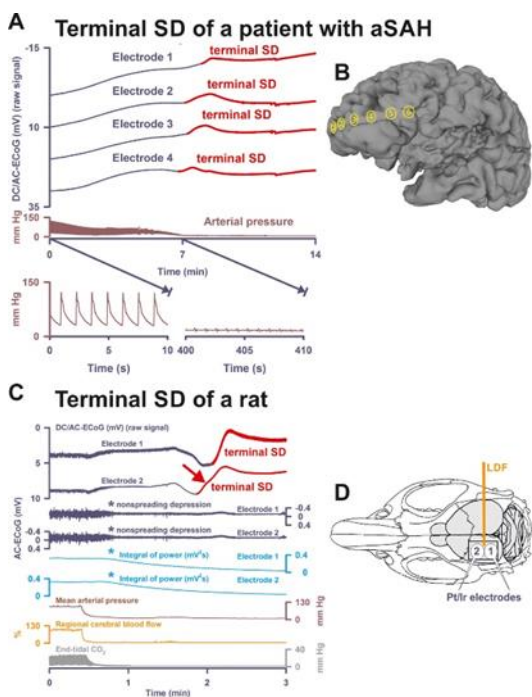
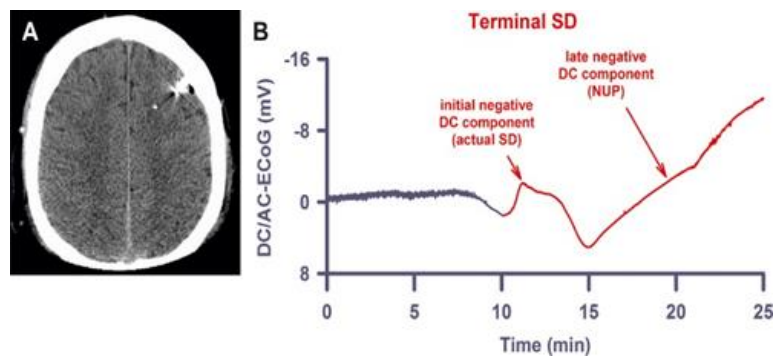
le quali provocano nei soggetti esperienze sensoriali simili a quelle vissute per esempio durante i sogni o nei momenti d'intensa spiritualità. Allo stesso modo narrazioni del tipo "ho visto la mia vita passarci davanti", in riferimento al fatto che prima di morire ricordiamo i momenti più intensi della nostra vita, troverebbero una spiegazione nell'intensa attività di modulazione da parte delle onde alpha sulle gamma, che stimolerebbe la produzione di ricordi di tipo episodico.

Nonostante queste rilevazioni abbiano rappresentato un enorme passo avanti in materia, presentano comunque dei limiti non trascurabili: innanzitutto l'analisi è stata svolta su un singolo caso e il cervello analizzato aveva subito lesioni ed era stato sottoposto a farmaci che potrebbero aver influenzato il comportamento neuronale; in più non sono disponibili scansioni dell'attività cerebrale 'normale' di questo paziente, per tanto non ci sono dati di confronto utili a comprendere l'effettiva correlazione tra i fenomeni osservati e la morte.

Altri dati che contribuiscono a queste ricerche sono stati raccolti nel 2018, quando un'equipe composta da neurologi dell'ospedale universitario di Berlino e dell'Università di Cincinnati ha monitorato un campione di 9 pazienti con lesioni cerebrali irreversibili, causati da incidenti stradali, ictus o arresto cardiaco, per i quali era stato concordato coi parenti un programma specifico di non-resurrezione. I ricercatori hanno analizzato la sequenza di eventi che accadono durante un'improvvisa ipossia/ischemia dopo la sospensione dei trattamenti salva-vita, attraverso l'applicazione di svariati elettrodi intracranici, e hanno pubblicato i risultati nel gennaio 2018, in un articolo su "Annals of Neurology" col titolo di "Terminal spreading depolarization and electrical silence in death of human cerebral cortex".

L'obiettivo era quello di verificare se nel cervello umano, dopo l'arresto cardiaco, avvenisse una perdita di energia a livello neuronale, così come avveniva negli animali, e in quanto tempo

si verificasse il cosiddetto “silenzio cerebrale”; e i risultati hanno mostrato che i neuroni vengono attraversati, fino a 5 minuti dopo l’arresto cardiaco, da una sorta di *tsunami elettrico*, il quale si diffonde provocando un danno irreversibile e causando la definitiva morte cerebrale. Questo “tsunami” in realtà altro non è che un’improvvisa e diffusa depolarizzazione, causata dalla mancanza di ossigeno che segue all’arresto cardiaco.



L’immagine qui accanto mostra la depolarizzazione diffusa (SD, spreading depolarization) nel cervello di un uomo comparata con la depolarizzazione diffusa nel cervello di un topo. L’immagine precedente mostra invece la depolarizzazione misurata con elettrodi inseriti più in profondità. Si noti la somiglianza tra la componente negativa in questo caso e la componente negativa nel caso dei ratti (linea rossa).
(da <https://onlinelibrary.wiley.com>)

Cerchiamo ora di comprendere come mai avvenga tale depolarizzazione e in cosa consiste a livello cellulare.

Le cellule utilizzano l'ossigeno pompato al loro interno dal sistema cardio-circolatorio per eseguire la combustione delle sostanze nutrienti al loro interno (assimilate tramite l'alimentazione) e ricavare così energia, acqua e diossido di carbonio. L'energia è generata nei mitocondri attraverso molecole di ATP (adenosina trifosfato), la quale è in grado di dare alle cellule l'apporto energetico necessario attraverso la fosforilazione: un processo per cui le molecole di ATP donano uno dei loro tre gruppi fosfato⁷ ad altre molecole, che lo utilizzano per produrre energia e portare a termine il loro compito.

A livello cerebrale l'ATP è fondamentale per sintetizzare neurotrasmettitori e per mantenere i gradienti ionici nelle membrane plasmatiche, oltre che per rendere possibile l'apertura dei canali delle pompe sodio-potassio e di conseguenza la generazione dei potenziali d'azione.

La **depolarizzazione** consiste sostanzialmente in una perdita di potenziale elettrico di membrana, ed è normalmente utilizzata dal sistema nervoso per condurre e trasmettere gli impulsi.

La membrana dei neuroni, infatti, quando questi sono a riposo, è carica negativamente (-70 mV), mentre l'esterno della cellula è carico positivamente. Questa differenza di potenziale tra dentro e fuori la cellula è mantenuta stabile dalla permeabilità della membrana e dalla presenza su di essa delle pompe sodio-potassio, che contrastano la naturale diffusione degli ioni, i quali tenderebbero ad uniformarsi ed equalizzare l'ambiente esterno e interno.

Quando però un neurone deve trasmettere un segnale, questo stato di riposo si modifica e avviene la depolarizzazione, ovvero il primo passo per la generazione dei potenziali d'azione.

I potenziali d'azione vengono generati principalmente grazie alle pompe sodio-potassio: quando l'assone riceve una stimolazione elettrica particolarmente elevata (che causi una

⁷ Una molecola di ATP è composta da una base azotata (adenina), da uno zucchero (ribosio) e da una catena di tre gruppi fosfato.

depolarizzazione di almeno 5-10 mV), le pompe aprono i canali del sodio e questo entra liberamente nella membrana cellulare, facendo sì che ci sia un aumento di carica positiva all'interno della cellula e un'inversione della situazione iniziale di riposo. Quando il potenziale raggiunge -40 mV, e tocca la sua soglia massima, si aprono nella membrana anche i canali del potassio e quest'ultimo, trovandosi in un ambiente interno molto positivo, inizia a fuoriuscire dalla cellula causando una perdita di potenziale e negativizzando nuovamente la cellula.

In sintesi, il potenziale d'azione, ovvero il segnale che il neurone genera e trasmette, è causato dall'apertura e chiusura dei canali ionici della pompa sodio-potassio.

Chiaramente, perché questo processo avvenga c'è bisogno di molta energia, ma quando i neuroni sono minacciati dallo scarso afflusso di ossigeno, essendo quest'ultimo fondamentale per la produzione di tale energia, il cervello subisce una sorta di “silenzio elettronico”, chiamato *non-spreading depression* con lo scopo di risparmiare risorse attraverso lo spegnimento delle funzioni cellulari non necessarie. Qualche minuto dopo la comparsa di tale silenzio, però, avviene la depolarizzazione diffusa di cui sopra, il cosiddetto “tsunami cerebrale”: perché?

Nonostante l'inattività di molte funzioni, gli ioni sodio e calcio continuano a entrare nelle membrane cellulari e gli ioni potassio ne escono, grazie all'energia libera di Gibbs; ma, dopo un po', le pompe sodio-potassio non riescono più ad aprire i canali e recuperare gli ioni perduti poiché hanno esaurito le riserve di ATP necessarie, perciò i tessuti coinvolti diventano isoelettrici e i neuroni subiscono un decadimento dei gradienti ionici che porta allo sviluppo massivo della depolarizzazione e alla sua propagazione nei tessuti.

L'espansione di questa depolarizzazione innesca poi una serie di processi tossici (tra cui un sovraccarico intracellulare di calcio e sodio, un aumento elevato di glutammato extracellulare e la presenza di edema citotossico) che risulteranno nella necrosi delle cellule coinvolte.

I ricercatori ci tengono a sottolineare che il danno cellulare inizia proprio con il dilagarsi della depolarizzazione, mentre non si verifica alcun danno nella fase precedente di depressione e silenzio elettronico.

Un altro studio recentissimo ha invece confermato la possibilità di ripristinare l'attività di alcuni tipi di neuroni, anche dopo molto tempo dalla morte, restituendo loro un apporto sufficiente di ossigeno.

Come visto in precedenza, più di una volta gli scienziati sono stati in grado di riportare in vita cellule e organi di animali anche a ore di distanza dalla loro morte, ovviamente nei casi in cui queste cellule non fossero state gravemente danneggiate e -per quanto riguarda i cervelli- i neuroni fossero ancora potenzialmente attivabili.

Proprio nel 2022 però, si è riusciti a riportare in attività alcune cellule nervose umane (oltre che di ratti), ovvero i fotorecettori della retina: lo studio, condotto da alcuni ricercatori dell'Università dello Utah e pubblicato su Nature a Maggio 2022, aveva come obiettivo quello di indagare gli effetti dell'assenza di ossigeno sui neuroni e di esaminare le dinamiche della morte e resurrezione neuronale, utilizzando la retina come modello del Sistema Nervoso Centrale.

Esaminando quindi i fotorecettori retinici di 40 donatori deceduti, i ricercatori hanno appurato che questi perdevano la capacità di comunicare con le altre cellule (e dunque la possibilità di essere trapiantati) proprio a causa della privazione di ossigeno cui erano sottoposti. Li hanno perciò inseriti in un'apposita unità di trasporto che fornisse loro ossigeno e altri nutrienti, ed

hanno scoperto che così facendo i recettori restavano attivi e le cellule della retina percepivano stimoli luminosi e comunicavano tra loro allo stesso modo in cui lo facevano negli organismi in vita.

Questi risultati, oltre a fornire un'importante punto di svolta per la medicina oculistica e la trapiantologia, sono un'ulteriore conferma del fatto che i neuroni hanno necessariamente bisogno di ossigeno per mantenersi in vita e che è possibile riattivarli, almeno in parte, anche dopo la morte, se viene loro rifornito l'ossigeno necessario per "ripartire". Ciò che si legge tra le righe, inoltre, è che non tutti i neuroni muoiono nello stesso istante, ma i processi che portano a necrosi impiegano tempi diversi a seconda del tipo di cellule nervose interessate. Non è da escludere quindi la possibilità per il futuro di intervenire su questi processi per rallentarli o addirittura invertirli.

2.3 Analisi e interpretazione dei risultati

I risultati ottenuti dagli esperimenti di cui sopra sono tutti tra loro piuttosto coerenti e ci portano nella direzione sperata, ovvero quella di comprendere i meccanismi neuronali alla base della morte e cercare di fornire una spiegazione scientifica a certi tipi di esperienze.

In particolare, i dati ottenuti dai casi clinici ci forniscono delle indicazioni precise per quanto riguarda l'attività cerebrale umana, mostrando come le cellule del nostro encefalo restino attive per diversi minuti dopo la morte cardiaca e abbiano attività talvolta paragonabile o addirittura superiore a quella presente da vivi.

Il fatto che siano state rilevate onde cerebrali di un certo tipo, e che sia stata accertata la presenza di una depolarizzazione diffusa dei neuroni prima del loro decesso, ci fornisce la spiegazione scientifica che stavamo ricercando per i fenomeni riferiti in merito alle NDE: la

perdita improvvisa di energia nei neuroni ad opera della stessa depolarizzazione, genera un picco di attività e di onde cerebrali e provoca quindi alterazioni significative degli stati di coscienza, delle percezioni e dei ricordi.

Sia che questo fenomeno abbia uno scopo protettivo nei confronti della coscienza al momento della morte, sia che sia una mera conseguenza fisiologica, ha senso considerarlo come la causa principale delle esperienze che molti hanno raccontato di vivere in fin di vita o una volta rianimati dal coma/morte apparente.

Oltre a fornire spiegazioni scientifiche alle NDE, però, questi risultati possono avere finalità pratiche molto importanti: forniscono strumenti di partenza per ulteriori e più approfondite ricerche, rimettono in discussione le possibilità di trapianto degli organi, e fanno sperare addirittura nella possibilità di fermare e invertire il processo della morte.

Chiaramente gli studi dovrebbero essere replicati, per ora non ci sono abbastanza dati in questo senso su cervelli umani, e sicuramente i metodi e i risultati ottenuti dovranno anche essere sottoposti a verifiche di tipo etico.

Per ora, dunque, ci limitiamo ad affermare con certezza che l'attività neuronale e cellulare può essere ripristinata artificialmente in cervelli e organi morti già da parecchio tempo; a cosa questo possa portare, nel concreto, è tutto da vedere.

CONCLUSIONI

Le sperimentazioni riassunte in queste pagine ci permettono di assolvere al nostro obiettivo iniziale: esaminare la morte da un punto di vista scientifico, concentrando l'attenzione soprattutto sul comportamento dei neuroni.

Nonostante ci sia ancora molto da scoprire, ciò che è evidente in questa sede è che la morte non è un fenomeno astratto e distante, né una forza soprannaturale che incombe su di noi, né un rituale di passaggio: è semplicemente una sequenza di fatti fisiologici che porta al progressivo deterioramento di tutte le cellule del nostro corpo, che ancora non abbiamo i mezzi per comprendere e contrastare fino in fondo.

Se anche vediamo la morte come fatto puramente scientifico, resta però un interrogativo di fondo: la nostra anima, la nostra parte cosciente ed emotivamente attiva, si esaurisce anch'essa con la morte?

Il fatto che alla base di esperienze extracorporee e sensoriali di ogni tipo ci siano, come sopra dimostrato, impulsi elettrici generati e diffusi dalle cellule nervose, ci invita a non considerare tanto l'anima in quanto separata da e contenuta nel nostro corpo, ma a soffermarci piuttosto sul concetto di *coscienza*.

La coscienza, volendo descriverla in poche parole, altro non è che la consapevolezza che un soggetto ha di sé stesso e del mondo esterno che esperisce. Questa consapevolezza non è innata, generata dal nulla e inserita negli esseri viventi secondo qualche principio di trascendenza, ma è invece prodotta e modificata lungo tutto il corso della nostra vita attraverso il cervello e le sue connessioni neurali, che ci permettono di raccogliere e interpretare gli stimoli -interni ed esterni- e di farne strumento di conoscenza.

Ecco che diventa immediato il collegamento tra cervello, sistema nervoso e coscienza: se non fossimo dotati di un cervello pensante, e di cellule nervose in grado di trasmettere a questo cervello le informazioni che riceviamo, non saremmo esseri coscienti. Va da sé che con la morte del corpo, e quindi di cervello e neuroni, si esaurisce anche la coscienza e la nostra possibilità di percepire noi stessi come vivi e presenti nel mondo.

Il fatto che con la morte si esaurisca ogni cosa sicuramente crea angoscia negli esseri umani, ed è per questo che cerchiamo continuamente spiegazioni ultraterrene e abbiamo bisogno di credere che una parte di noi sarà eterna, anche se scientificamente non ci sono prove a sostegno di tale ipotesi, e tutto sembra propendere per il contrario.

I risultati a cui siamo giunti attualmente però, come precedentemente accennato, lasciano ben sperare per quanto riguarda il rallentare o anche bloccare la morte: se è vero che non è altro che una sequenza fisiologica di eventi, e se riusciremo a comprendere sempre più a fondo la natura di questi eventi, allora non sarà così difficile poterli prevedere, evitare o invertire.

BIBLIOGRAFIA

- Beecher, Henry K. MD et al. (2007). A Definition of Irreversible Coma. *International Anesthesiology Clinics*, Vol. 45 Issue 4
- Borjigin, Lee, et al. (2013). Surge of neurophysiological coherence and connectivity in the dying brain. *Proceedings of the National Academy Of Sciences (PNAS)*, Vol. 110 No. 35
- Wutzler et al. (2011). Elevation of brain serotonin during dying. *Neuroscience Letters*, Vol. 498 Issue 1
- Vrselja, Z., Daniele, S.G., Silbereis, J. et al. (2019). Restoration of brain circulation and cellular functions hours post-mortem. *Nature*, 568, 336-343
- Andrijevic, D., Vrselja, Z., Lysyy, T. et al. (2022). Cellular recovery after prolonged warm ischaemia of the whole body. *Nature* 608, 405–412
- Vicente, Rizzuto, Sarica et al. (2022). Enhanced Interplay of Neuronal Coherence and Coupling in the Dying Human Brain. *Front. Aging Neurosci.* 14:813531.
- Zhang, Watrous, Patel et al. (2018). Theta and Alpha Oscillations Are Traveling Waves in the Human Neocortex. *Neuron*, Vol. 98 Issue 6, P 1269-1281
- P. Dreier MD, S. Major MD, B. Foreman MD et al. (2018). Terminal spreading depolarization and electrical silence in death of human cerebral cortex. *Annals of Neurology*, Vol. 83 Issue 2, P 295-310
- S. Deahene. (2014) Coscienza e cervello. Bologna: Raffaello Cortina Editore
- P. S. Eldra, C. E. Martin, D. W. Martin, L. R. Berg. (2022). Fondamenti di Biologia. Milano: Edises
- L. A. Freberg. (2007). Psicologia Biologica. Roma: Zanichelli
- Abbas, F., Becker, S., W. Jones, B. et al. (2022). Revival of light signalling in the postmortem mouse and human retina. *Nature*, 606, 351-357
- A. P. Leão. (1947). Further observations on the spreading depression of activity in the cerebral cortex. *Journal of Neurophysiology*, Vol. 10 Issue 6
- Özugur, S., Kunz, L. & Straka, H. (2020) Relationship between oxygen consumption and neuronal activity in a defined neural circuit. *BMC Biology*, 18, 76
- Hopkin, M. (2006) Thoughts of woman in 'waking coma' revealed. *Nature*

Owen, A., Coleman, M.R., Boly, M. et al. (2006). Detecting Awareness in the Vegetative State. *Science*, Vol. 313 Issue 5792

Parnia, S., Post, S.G., Lee, M.T. et al. (2022). Guidelines and standards for the study of death and recalled experiences of death—a multidisciplinary consensus statement and proposed future directions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 1511 Issue 1

SITOGRAFIA E VIDEOGRAFIA

Mòrte in Vocabolario Treccani. Da <https://www.treccani.it/vocabolario/morte/>

Norme per l'accertamento e la certificazione di morte. Da <https://storia.camera.it/norme-fondamentali-e-leggi/leggi/19931229-norme-l-accertamento-e-certificazione-morte>

<https://bioetica.governo.it/it/pareri/pareri-e-risposte/i-criteri-di-accertamento-della-morte/>

https://www.lescienze.it/news/2018/06/07/news/onde_cerebrali_propagazione_cervello_cognizione_memoria-4009476/

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ana.25147>

https://www.repubblica.it/2005/f/sezioni/scienza_e_tecnologia/espcani/espcani/espcani.html

<https://www.focus.it/comportamento/psicologia/esperienze-pre-morte-spiegazione-scientifica>

<https://journals.physiology.org/doi/abs/10.1152/jn.1947.10.6.409>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5901399/#ana25147-bib-0007>

<https://www.onb.it/2019/10/12/vita-e-morte-dei-neuroni-adesso-e-piu-chiaro-come-avviene/>

<https://bmcbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12915-020-00811-6#citeas>

<https://it1.warbletoncouncil.org/despolarizacion-neuronal-4658>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304394011005234>

<https://www.nature.com/articles/d41586-022-03238-x>

* <https://www.internazionale.it/magazine/alexandru-micu/2022/10/20/neuroni-umani-nel-cervello-dei-ratti>

* <https://bibliotecadigitale.cab.unipd.it/>

“Experiments in the Revival of Organism” – 1940, Unione Sovietica. Archivio pubblico russo. - <https://archive.org/details/Experime1940>

“Doctor Sam Parnia Explains what happen when you die” – 2021, Oz Talks. - <https://www.express.co.uk/news/science/880461/Life-after-death-what-happens-when-you-die-sam-parnia-afterlife-evg>

Ringraziamenti

Al mio *Relatore*, che si è dimostrato sempre disponibile e propositivo nel guidarmi in questo percorso.

Ai miei *genitori*, senza i quali nulla di tutto ciò sarebbe iniziato e finito, che mi hanno sempre sostenuta e spronata a dare il meglio, incitandomi a non mollare mai.

Al mio *ragazzo*, che ha vissuto più di tutti assieme a me le gioie e i dolori di questo periodo, sempre pronto a essere una spalla su cui piangere e un compagno su cui contare.

Ai miei *amici*, ottima scusante per il mio fuori corso, ma al tempo stesso ottimi consiglieri e motivatori.

Grazie.