

# ANALYSIS

Rivista di cultura e politica scientifica



1

2018

ETICA E ROBOTICA. DUE CASI DI STUDIO E ALCUNI SPUNTI DI RIFLESSIONE

ROBOTICA ED ECONOMIA: LINEE GUIDA INTRODUTTIVE

GLI ULTIMI 20 ANNI NELLO SVILUPPO DI TERAPIE PER LA MALATTIA DI ALZHEIMER

REGIMI ESTREMI IN GRAVITÀ QUANTISTICA

Pàtron Editore

# ANALYSIS

Rivista di cultura e politica scientifica

Anno XX - N. 1/2018

## SOMMARIO

Antonio Baroncelli, Giovanni Dal Monte, Giovanni Gullà, Roberto Palaia, Emanuela Reale, Laura Teodori	<i>Presentazione</i>	p. 3
Alberto Mazzoni	<i>Etica e robotica. Due casi di studio e alcuni spunti di riflessione</i>	» 5
Andrea Bellezza, Valeria Caggiano, Francesca Amenduni	<i>Robotica ed economia: linee guida introduttive</i>	» 8
Marcello D'Amelio, Nicola Biagio Mercuri	<i>Gli ultimi 20 anni nello sviluppo di terapie per la malattia di Alzheimer: un'analisi per il rilancio di nuovi paradigmi di studio</i>	» 18
Emmanuele Battista	<i>Regimi estremi in gravità quantistica</i>	» 23

ANALYSIS - 1/2018

**Direttore**

Antonio Baroncelli

**Comitato di Redazione**

Giovanni Dal Monte, Giovanni Gullà, Roberto Palaia,  
Emanuela Reale, Laura Teodori

**Segreteria**

Marta Cascarano, Livia Steve

e-mail: [marta.cascarano@gmail.com](mailto:marta.cascarano@gmail.com)

[marta.cascarano@analysis-online.net](mailto:marta.cascarano@analysis-online.net)

Internet: [www.analysis-online.net](http://www.analysis-online.net) International Standard Serial Number: ISSN 1591-0695

Direzione e Redazione: presso ANPRI

Gli autori degli articoli sono responsabili delle loro opinioni.

È obbligatorio citare la rivista in caso di riferimento al materiale pubblicato.

Periodico trimestrale di proprietà dell'ANPRI, Associazione Nazionale Professionale per la Ricerca, aderente alla CIDA, Confederazione Italiana Dirigenti e Alte professionalità, Funzione Pubblica Via Tortona, 16 00183 Roma Tel. 06.7012656-Fax 06.7012666 e-mail: [anpri@anpri.it](mailto:anpri@anpri.it) Internet: [www.anpri.it](http://www.anpri.it)

Autorizzazione del Tribunale di Roma N. 253/99 del 07.06.1999

Precedente Autorizzazione del Tribunale di Roma N. 465/94 del 17.10.1994

Precedente Autorizzazione del Tribunale di Torino N. 4132 del 24.01.1990

Stampa: LI.PE., Litografia Persicetana, S. Giovanni in Persiceto, Bologna, per conto della Pàtron Editore.

In copertina: Evento "The Art of Technology" - Milano, 2017.

# PRESENTAZIONE

Antonio Baroncelli, Giovanni Dal Monte, Giovanni Gullà,  
Roberto Palaia, Emanuela Reale, Laura Teodori

## XX Anno di pubblicazione di Analysis

*Quando 20 anni fa un piccolo gruppo di ricercatori, numeroso quanto le dita di una mano, hanno dato vita alla rivista Analysis a molti è sembrata una pazzia, un azzardo, una sfida persa in partenza. Alcuni di noi c'erano, pazzi abbastanza da crederci e testardi quanto basta per far nascere, crescere e rendere Analysis quello che è ora. Alcuni amici nel tempo hanno lasciato per altri impegni, altre storie, altri sono rimasti per tutto questo tempo. Eppure oggi Analysis non è l'insieme delle persone delle idee e dei discorsi fatti tanti anni fa, la sua storia ha trasformato il comitato di redazione della nascita in un'idea, in un ideale che va al di là dei singoli nomi. In un sogno che non si è realizzato ma che vediamo in lontananza. Non sappiamo dire quanto Analysis sia riuscita a fare quello che volevamo. Ma siamo sicuri che se tornassimo indietro rifaremmo tutto quello che, negli anni, abbiamo fatto.*

Gli articoli che aprono questo numero un po' particolare focalizzano l'attenzione su una questione, la robotica, che interagisce intimamente con aspetti di estrema rilevanza ed attualità: neuroingegneria ed economia.

Nel suo contributo Alberto Mazzoni, già dal titolo "Etica e robotica. Due casi di studio e alcuni spunti di riflessione" e dalla combinazione di parole chiave scelte (algoritmi, etica, neuro-ingegneria, robotica, deontologia), fa subito emergere il calore e la complessità etica della robotica, "argomento" apparentemente freddo e tecnologico. La robotica è il tipico caso in cui la scienza e la tecnica, portandosi avanti verso nuove frontiere, vanno ad incidere sulla natura stessa dell'uomo ponendo sempre nuovi problemi alla filosofia e, in particolare, stimolano importanti interrogativi etici. L'Autore discute di due casi: il primo riguarda il dibattito interno ai lavoratori di Google relativo alle collaborazioni con il Dipartimento della Difesa statunitense per migliorare le capacità dei droni da combattimento, l'antico "conflitto" delle scienze al "servizio" della ricerca bellica calato nel mondo degli algoritmi; il secondo -il tentativo del batterista Jason Barnes, amputato di un braccio per un incidente, di "riappropriarsi" della protesi neurobotica fornitagli dalla Georgia Tech University- fa emergere in maniera dirompente gli interrogativi etici specifici che robotica e neuroingegneria pongono agli scienziati e alla società. Questi interrogativi rappresentano la prima sfida che la ricerca robotica del prossimo futuro deve risolvere, guardando all'interesse collettivo e senza perdere di vista il sentimento e lo spirito di ogni singolo individuo.

In "Robotica ed economia: linee guida introduttive" Andrea Bellezza, Valeria Caggiano e Francesca

Amenduni, discutono di quello che definiscono un "affascinante argomento": le relazioni tra robotica e l'economia. Ad avviso degli Autori, l'argomento trattato apre un "vasto paesaggio scientifico", ampio e trasversale, che partendo da risultati molto concreti e diretti, come quelli derivanti dalla crescita dell'utilizzo di soluzioni automatiche robotizzate e computerizzate nella produzione industriale (la cosiddetta "quarta rivoluzione industriale"), possono arrivare ad abbracciare anche scienze sociali, arte e cultura. Gli Autori, nell'individuare una convergenza ed un bisogno fra robotica ed economia, evidenziano una importante sfida per entrambe le aree che, a loro avviso, rappresenta una grande opportunità per migliorare sistemi sociali e relazioni. Tuttavia, anche in questa nota, non manca un richiamo forte e opportuno allo "studio degli aspetti etici delle relazioni tra robot ed esseri umani": ora che le macchine possiedono sempre di più capacità che superano quelle umane, il tema sarà sempre più vivo e, ad avviso degli Autori, deve essere "al centro della riflessione sociale".

Marcello D'Amelio e Nicola Biagio Mercuri rappresentano una fonte autorevole della comunità scientifica nel settore delle neuroscienze e nel contributo "Gli ultimi 20 anni nello sviluppo delle terapie per la malattia di Alzheimer: un'analisi per il rilancio di nuovi paradigmi di studio" fanno il punto della situazione sulla ricerca farmacologica per la prevenzione e la terapia dell'Alzheimer, una delle maggiori cause di demenza, che affligge ora 47 milioni di persone al mondo, un numero che è destinato a raddoppiarsi nei prossimi 20 anni. Prendendo spunto dalla recente rinuncia della Pfizer alla ricerca di farmaci per la cura della malattia di Alzheimer, come in precedenza fatto da un'altra importante casa farmaceutica, la Merck, a

seguito dei deludenti esiti terapeutici e degli ingenti investimenti sull'Alzheimer nell'ultimo ventennio, gli autori evidenziano l'importanza della ricerca di base per la comprensione degli eventi molecolari e cellulari alla base dell'esordio e progressione della malattia. Si impone, infatti, come da loro sottolineato, una riflessione su quanto finora prodotto per proporre nuovi paradigmi di studio partendo proprio dai risultati della ricerca di base.

L'articolo di Emmanuele Battista "Regimi estremi in gravità quantistica" prende spunto dai lavori svolto dall'Autore per la redazione della sua tesi di dottorato, con la quale egli ha vinto la IX edizione del premio Vincenza Celluprica, bandito dall'ANPRI. Il tema che viene affrontato rimanda a una delle questioni più dibattute attualmente dalla comunità scientifica: il tentativo di formulare una corretta teo-

ria quantistica del campo gravitazionale, in grado di descrivere le quattro interazioni fondamentali della natura (quella elettromagnetica, quella nucleare debole, quella forte e infine l'interazione gravitazionale) in modo coerente con i principi della meccanica quantistica, grazie anche ai progressi delle moderne tecniche di misurazione. Nella parte dedicata alle basse energie, l'autore applica il modello delle *effective field theories* allo studio delle correzioni quantistiche della posizione dei punti lagrangiani del sistema Terra-Luna. Vengono poi analizzate le caratteristiche dello spazio-tempo che si ottengono dopo aver applicato una metrica peculiare per pervenire a una soluzione delle equazioni di Einstein che descrivono un buco nero generalizzato. Un argomento dal fascino indiscutibile e sul quale si scriverà sicuramente ancora molto.

# ETICA E ROBOTICA. DUE CASI DI STUDIO E ALCUNI SPUNTI DI RIFLESSIONE

Alberto Mazzoni

## Riassunto

*La scienza e la tecnica fuggono in avanti e pongono sempre nuovi problemi alla filosofia, i più pressanti dei quali sono di carattere etico. Questo è tanto più vero per scienze che vanno ad incidere sulla natura stessa dell'uomo come la robotica e la neuroingegneria. Due casi aperti vengono presentati di seguito: il dibattito interno ai lavoratori di Google relativo alle collaborazioni con il Dipartimento della Difesa statunitense, il tentativo del batterista di Jason Barnes di "riappropriarsi" della protesi neurobotica fornitagli dalla Georgia Tech University. Se il primo caso mostra come si declina in un mondo dominato dagli algoritmi il problema antico quanto la scienza della ricerca bellica, il secondo caso evidenzia la presenza di interrogativi etici specifici a queste nuove scienze.*

**Parole chiave:** *Algoritmi, Etica, Neuroingegneria, Robotica, Deontologia.*

## Summary

*Science and technology are moving forward at increasing speed, raising every day new philosophical questions, the most pressing being those regarding ethics. This is particularly relevant for sciences that affect human nature itself, as robotics and neuroengineering. We present here two case studies: the debate among Google's employees about the company's collaborations with US Department of Defense, and the attempt of the drummer Jason Barnes to become the owner of the neuroprosthetic robotic arm that Georgia Tech University developed for him. The first case shows how the issue of the dual use of technology applies to algorithms, the second one highlights the presence of ethical questions specific to the aforementioned novel sciences.*

**Keywords:** *Algorithms, Ethics, Neuroengineering, Robotics, Professional ethics.*

Uno dei fraintendimenti più diffusi a proposito dell'automazione dei processi nel senso comune è quello del potere dell'algoritmo. "Lo vuole l'algoritmo" "Non posso farci niente, l'ha deciso l'algoritmo" "L'algoritmo non lascia margini". È chiaro che l'algoritmo, proprio per il suo non avere nessun margine d'azione pratico, non ha nessuna responsabilità etica. La responsabilità di ogni conseguenza dell'algoritmo è di chi ha programmato l'algoritmo e ha preso le decisioni riguardanti l'obiettivo e le tecniche che l'algoritmo applica per raggiungerli. È vero che da qualche anno a questa parte ogni algoritmo avanzato dispone di metodi per interagire con le condizioni ambientali e di meccanismi di autoapprendimento e quindi non ha un comportamento deterministicamente prevedibile da parte del programmatore. Questo però non cambia minimamente la questione della responsabilità, dato che i metodi di interazione e i meccanismi di apprendimento sono stati settati dal programmatore. Supponiamo che io inserisca nel pacemaker di A., prima dell'impianto, un strumento di controllo in grado di rilevare i segnali di alterazione dovuti a rabbia e che questo strumento sia programmato per arrestare il battito cardiaco di A. nel caso la sua rabbia superi un certo livello. Se A. dopo l'impianto venisse a chiedermi di fermare tutto io non potrei dire

altro che tutto ormai è nella mani dell'algoritmo e che non ho possibilità di azione. Ma mi sembra evidente che per quanto io non possa prevedere se, quando e perché A. sarà ucciso dall'algoritmo, se questo accadrà la responsabilità sarà pienamente mia. In questo esempio l'obiettivo dell'algoritmo è esplicito, ma è importante notare come ogni meccanismo di apprendimento, anche uno non supervisionato, preveda implicitamente la direzione che si vuole far prendere all'algoritmo, ed è questo passaggio che definisce la responsabilità del programmatore. Un algoritmo esistenzialista, che agisca in modo non casuale e allo stesso tempo non abbia uno scopo nemmeno implicito, al momento è difficile anche da teorizzare.

Anche nella robotica è opinione di chi scrive che neanche la più avanzata AI potrà liberare il programmatore dalla responsabilità per le azioni del robot. Per questo è fuorviante parlare di etica dei robot. Si deve parlare di etica, deontologia e responsabilità sociale di chi i robot li progetta e li costruisce.

Non è facile prevedere le conseguenze delle proprie scoperte/invenzioni. Certo, se si lavora a un software di riconoscimento facciale in tempo reale è bene essere pronti ad affrontare la propria responsabilità nella riduzione della privacy a favore del controllo. Ma se si lavo-

ra a un algoritmo di *machine learning* (apprendimento automatico) come poi possiamo sapere se verrà usato per il riconoscimento facciale o meno? La questione è meno accademica di quello che si può credere. Un ottimo esempio ci viene da quanto successo recentemente presso Google: come raccontato dal NY Times, migliaia di lavoratori della compagnia hanno scritto una lettera aperta per chiedere che Google non partecipi a progetti con scopo militare, e in particolar modo che venga abbandonato il progetto Maven<sup>1</sup>. Come riportato dal sito del ministero della Difesa statunitense<sup>2</sup>, nell'aprile del 2017 l'allora segretario alla Difesa Bob Work ha fondato l'*Algorithmic Warfare Cross-Functional Team* volto a lavorare a un progetto di computer vision che sfrutti varie tecniche avanzate come il *deep learning* per aumentare le capacità dei droni da combattimento di individuare il proprio bersaglio. Il progetto Maven, appunto, a cui numerose compagnie hi tech statunitensi compresa Google hanno acconsentito a collaborare. I lavoratori di Google, nella loro lettera, chiedono non solo che il progetto venga abbandonato, ma che Google si impegni a non partecipare più a progetti bellici. *“Il fatto che sia Microsoft che Amazon partecipino a questo tipo di ricerche”* non giustifica Google, scrivono, e soprattutto aggiungono *“We cannot outsource the moral responsibility of our technologies to third parties”* - *“Non possiamo subappaltare la responsabilità morale delle nostre tecnologie a terze parti”*. L'articolo del NY Times è del 4 aprile. Il 2 giugno la BBC riporta che Google non rinnoverà il progetto Maven<sup>3</sup>, ma la notizia deve ancora trovare conferma.

Il problema delle applicazioni militari, in realtà, è probabilmente il più ovvio di quelli che l'etica robotica si trova ad affrontare. È un problema che tutte le tecnologie affrontano nel momento in cui dispiegano la propria piena potenza. Può darsi però che la robotica porti con sé anche delle questioni etiche specifiche. Data la mia conoscenza diretta dell'argomento, mi focalizzerò sulla biorobotica, e ancora più un particolare sulla neuroingegneria, un campo in cui nuovi interrogativi sorgono anche ai confini della bioetica.

Jason Barnes è forse il primo batterista di una nuova era. Ha perso il braccio nel 2012 in un incidente sul lavoro. Jason è tornato a suonare appena dimesso, con una protesi molto semplice fatta in casa, ma ha sempre ambito ad avere una protesi al livello del suo talento. La Georgia Tech University gli ha fornito, a partire dal 2014, una protesi di mano robotica avanzata. Grazie a questa protesi Jason riusciva ad esercitare un controllo a livello di singolo dito basato sul segnale elettromiografico superficiale (sEMG) estratto dal suo braccio<sup>4</sup>. La Georgia Tech University fornì però a Jones anche una protesi di tipo nuovo: un braccio robotico che invece di terminare con dita termina con

due bacchette per batteria. Una di queste bacchette è controllata da Jason nuovamente attraverso l'EMG dei muscoli residui del braccio: Jason direziona la bacchetta e volendo da' forza con la spalla, ma tramite l'algoritmo di decodifica di EMG può decidere quanto flessibilmente tenere la bacchetta e come e quando farla inclinare. Quello però che è eccezionale è che l'altra bacchetta combina le intenzioni motorie decodificate dall'EMG con la musica che è stata appena suonata registrata da un microfono, le confronta con un database di ritmi, e quindi crea autonomamente nuovi ritmi<sup>5</sup>. In parole povere una bacchetta robotica suona eseguendo gli ordini di Jason, l'altra improvvisa insieme a lui (Jason può comunque bloccare tale attività)<sup>6</sup>. Grazie all'abilità di realizzare poliritmi cognitivamente “impossibili”, e ad una velocità quattro volte superiore a quella umanamente raggiungibile, Jason potrebbe giungere in nuovi territori della musica jazz. Adesso ha affinato il suo controllo della protesi e gode di un po' di notorietà. Il problema è che vorrebbe andare in tour ma il braccio è proprietà della Georgia Tech, che non glielo consente, ed è quindi costretto a lanciare una campagna kickstarter per farsi un braccio nuovo, già che ci siamo completamente integrato e quindi in grado di suonare davvero in ogni condizione<sup>7</sup>.

La storia di Jones si situa allo snodo di varie questioni di etica neuro-robotica. Si vogliono suggerire qui giusto due spunti di riflessione.

In primo luogo, c'è il problema del potenziamento. Un conto è cercare di fare il possibile per restituire al paziente la maggior frazione possibile della funzionalità di un arto mancante, un altro dotarlo di un braccio con capacità motorie extraumane (come pare essere il caso per Jones). Ricordate il dibattito sull'ammissione di Pistorius alle olimpiadi del 2012? Il problema sorgerà dal dubbio che le sue protesi fossero migliori delle gambe intatte degli atleti, un dubbio che chiarisce più di ogni altra cosa il livello di raffinatezza delle protesi attuali. Le protesi meramente meccaniche di Pistorius potevano dargli un lieve vantaggio energetico sui 400 metri, ma le interfacce cervello macchina potrebbero offrire vantaggi superumani, come l'accesso a un più ampio spettro luminoso o acustico tramite *remapping*, la percezione e il controllo neurale di meccanismi a distanze arbitrarie. La corrente di pensiero detta *“transumanesimo”* discute e talvolta mette in atto queste pratiche da tempo ma presto esse diventeranno di accesso diffuso. Questo richiede una discussione ampia e possibilmente una normativa. Uno studio interessante mostra come la competizione nel mercato del lavoro abbia drasticamente diminuito le ore di sonno nello scorso secolo<sup>8</sup>. Se vengono inseriti nel mercato impianti antifatica, anti-sonno, o in grado di fornire potenziamenti cognitivi, non rischierebbero di diventare in poco tem-

po una necessità per rimanere competitivi sul lavoro? Già adesso i chip di memoria sottopelle vengono installati volontariamente “per risparmiare tempo”, come nel caso dei chip sottopelle inseriti dai pendolari delle ferrovie svedesi<sup>9</sup>. Non si tratta di dispositivi medici, né richiedono un vero e proprio intervento medico per essere inseriti, ma la via è tracciata. Il progetto NEURALINK di Elon Musk propone lo sviluppo di un chip inseribile nella corteccia per essere sempre connessi e allo stesso tempo una tappa finale del processo e una possibilità concreta.

Il secondo problema è quello della proprietà dei risultati di una interfaccia uomo-macchina. Torniamo a Jones. La sua protesi è in grado di imparare da quello che sente e di sviluppare nuovi ritmi. Questo in apparenza la rende pienamente indipendente, ed è in effetti una macchina tecnicamente indipendente dal programmatore. Ma di fatto la principale sorgente di informazione per l'apprendimento dell'intelligenza artificiale sono la musica e le attività muscolari di Jones quindi l'intelligenza artificiale finale è assolutamente dipendente da Jones, è di fatto cresciuta cibandosi delle informazioni di Jones. Siamo quindi sicuri che sia completamente di proprietà di Georgia Tech? Questo è in un certo senso un problema condiviso con tutti gli algoritmi da cui acconsentiamo di farci tracciare online, ma un conto sono le informazioni sulla nostra navigazione internet, che sono in ogni caso mediate da una serie di entità private, un conto sono le informazioni relative alla nostra attività corporea, all'attività del sistema nervoso che è quanto di materialmente più vicino alla nostra vita interiore. Il bel romanzo “*Il cerchio*” di Dave Eggers si conclude con una dipendente di un social network totalizzante che alla vista di una sua amica in coma si dispera perché questa egoisticamente si tiene i suoi pensieri per sé<sup>10</sup>. Ma, ad esempio, il chip di Neuralink sarebbe, per funzionare, necessariamente in grado di leggere i dati neurali, e non dubitiamo che potrebbero essere archiviati “per fornirci un servizio migliore”.

Quali risposte elaborare di fronte a questi problemi? Ritornando all'azione dei dipendenti di Google forse possiamo partire da una domanda più limitata. Quali azioni possono intraprendere gli addetti ai lavori per contribuire a risolvere questi problemi? Per prima cosa vederli come tali. Smettere di sentirsi la cittadella assediata che è sempre nel giusto, smettere di credere che ogni invenzione o scoperta sia meritoria in sé, e riflettere costantemente su come indirizzare attivamente le nostre ricerche verso il progresso sociale. In secondo luogo uscire dalla cittadella per parlare ed ascoltare. Divulgare in modo chiaro e oggettivo i progressi tecnici e scientifici di modo tale che i cittadini possano prendere decisioni informate, e

tenere conto del parere dei soggetti la cui vita risulta maggiormente influenzata da questi progressi.

Il paragone del Prof. Verruggio sul precedente numero di Analysis tra i dibattiti passati sulla Fisica Nucleare e Ingegneria Genetica e quelli futuri sulla Robotica è estremamente calzante<sup>11</sup>. Non è un caso se la stessa località di Asilomar che nel 1973 ospitò la conferenza che dettò le prime linee guida delle biotecnologie è il luogo dove sono stati enunciati l'anno scorso una serie di interessanti linee guida sulla futura ricerca nel campo dell'Intelligenza Artificiale<sup>12</sup>. La conferenza di Asilomar non riuscì a impedire un epico conflitto tra ricerca pubblica e ricerca privata per la proprietà del genoma un quarto di secolo più tardi<sup>13</sup> – quali sfide attendono la ricerca robotica nel prossimo, decisivo, quarto di secolo?

## Note

<sup>1</sup> <https://www.nytimes.com/2018/04/04/technology/google-letter-cco-pentagon-project.html>.

<sup>2</sup> <https://www.defense.gov/News/Article/Article/1254719/project-maven-to-deploy-computer-algorithms-to-war-zone-by-years-end/>.

<sup>3</sup> <http://www.bbc.com/news/business-44341490>.

<sup>4</sup> <https://spectrum.ieee.org/the-human-os/biomedical/devices/skywalker-prosthetic-hand-uses-ultrasound-sensors-for-finger-level-control>.

<sup>5</sup> Bretan et al arXiv (2016) <https://arxiv.org/abs/1612.04391>.

<sup>6</sup> <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-hardware/cyborg-drumming-arm-makes-amputee-into-superhuman-musician>.

<sup>7</sup> <https://spectrum.ieee.org/the-human-os/biomedical/bionics/cyborg-drumming-arm-seeks-kickstarter-help-to-escape-the-lab>.

<sup>8</sup> 24/7 Il capitalismo all'assalto del sonno - Johnatan Cray, Einaudi.

<sup>9</sup> <http://www.report.rai.it/dl/Report/puntata/ContentItem-13eb1922-2aa7-4358-9aba-905186df7cd5.html>.

<sup>10</sup> *While Anne is in the hospital, Mae thinks creatively. 'What was going on in that head of hers? It was exasperating, really, Mae thought not knowing. It was an affront, a deprivation, to herself and to the world.' She plans to bring it up with her bosses. 'They needed to talk about Annie, the thoughts she was thinking. Why shouldn't they know them? The world deserves nothing less and would not wait.*

<sup>11</sup> Verruggio G. Robotica (aspetti etici, legali e sociali della robotica), Analysis 2-2017.

<sup>12</sup> <https://futureoflife.org/ai-principles/>.

<sup>13</sup> <https://mondediplo.com/2002/12/15genome>.

## ALBERTO MAZZONI

Alberto Mazzoni è il principal investigator del Laboratorio di Neuroingegneria Computazionale dell'Istituto di Biorobotica della Scuola Superiore Sant'Anna. Laurea in Fisica Teorica presso l'Università di Pisa (dove ora insegna nel corso di Ingegneria Biomedica), PhD in Neuroscienze presso la Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati di Trieste, da allora si occupa di analisi e riproduzione in silico dell'attività neurale. Da ancora prima si occupa di politica scientifica e di critica cinematografica.

### Contatti:

[a.mazzoni@santannapisa.it](mailto:a.mazzoni@santannapisa.it)

# ROBOTICA ED ECONOMIA: LINEE GUIDA INTRODUTTIVE

Andrea Bellezza, Valeria Caggiano, Francesca Amenduni

## Riassunto

*Le relazioni tra robotica ed economia costituiscono un affascinante argomento, esso apre un 'vasto paesaggio scientifico', che abbraccia da mecatronica e intelligenza artificiale fino a scienze sociali, arte e cultura. Questa convergenza è allo stesso tempo un bisogno, una importante sfida per entrambe le aree, e una grande opportunità per migliorare sistemi sociali e relazioni.*

**Parole chiave:** Robotica, Economia, Roboetica, Intelligenza artificiale.

## Abstract

*Relationships between robotics and economy constitute a fascinating topic, it opens a 'wide scientific landscape', that embrace from mechatronics and artificial intelligence up to social sciences, art and culture. This convergence is, in the same time, a need, an important challenge for the two areas, and a great opportunity to improve social systems and relationships.*

**Keywords:** Robotics, Economy, Roboethics, Artificial Intelligence.

## Panoramica

La relazione tra robotica ed economia non è un tema nuovo, almeno dal punto di vista degli apparati di produzione e di creazione dell'offerta, oltre che nell'ambito militare e della ricerca, essa infatti si manifesta come evidente fenomeno strutturale già in quella che viene definita 'terza rivoluzione industriale', ovvero una serie di processi di cambiamento tecnologico e culturale cui assistiamo già a partire dalla seconda metà del novecento. L'introduzione dell'automazione, quindi l'utilizzo di componenti operative automatiche, che possiamo definire robotiche, a supporto dell'attività di produzione industriale, è di fatto uno degli elementi tecnologici principali che scandiscono le caratteristiche di questo cambiamento epocale. Se per robot possiamo intendere uno strumento meccanico, regolato elettronicamente, e capace di operazioni seriali e automatiche, nel definire la robotica circoscriviamo un settore interdisciplinare ed in rapida evoluzione che, nato in seno all'ingegneria mecatronica, si occupa sia della progettazione e produzione di robot, ma abbraccia diverse discipline tra cui vanno annoverate l'ingegneria, l'informatica, l'elettronica, l'automazione, la meccanica, la chimica, la biologia, la psicologia, la linguistica, la comunicazione, la pedagogia. L'altro elemento sostanziale, in convergenza con quanto già accennato, è l'implementazione di pratiche di informatizzazione e digitalizzazione, supportate dall'utilizzo diffuso di computer, apparecchi

elettronici in grado di memorizzare informazioni ed espletare operazioni logiche e matematiche con performance superiori rispetto a quelle del cervello umano e degli strumenti precedentemente utilizzati. La convergenza tra queste due tecnologie, pur non esaurendo i tratti di tale terza rivoluzione, ne è certamente uno degli aspetti più significativi, nonché anticipatore dei successivi fermenti di sviluppo.

Rimanendo sul fronte dell'offerta ciò che è invece innovativo in termini di rapporti tra robotica ed economia è proprio la convergenza tecnologica che determina quella che definiamo 'quarta rivoluzione industriale' o 'Industry 4.0' (BMBF-Internetredaktion; 2016). L'avvento nel sistema di produzione di tali nuovi processi e pratiche è determinata dall'integrazione di differenti nuove tecnologie di cui la robotica è uno dei perni fondanti. Tale integrazione rende possibili quelli che vengono definiti sistemi cyber-fisici, CPS o cyber-physical systems. Per CPS si intendono ambienti in grado di operare dinamicamente e senza soluzione di continuità distribuendosi nella relazione con tutti gli elementi fisici e virtuali del sistema che agiscono, essi sono caratterizzati da capacità computazionale, di comunicazione e di controllo. Queste soluzioni sono orientate ad alcuni fondanti principi, come l'interoperabilità, il decentramento delle decisioni, la disponibilità delle informazioni, l'integrazione verticale e orizzontale, la capacità di auto-assistenza. In tali piattaforme confluiscono teorie e strumenti che, oltre alla robotica, afferiscono a diversi

altri filoni, ed in particolare i più significativi sono:

- A.I. - artificial intelligence, che è quella branca dell'informatica orientata allo sviluppo di sistemi software capaci di azioni complesse riconducibili all'intelligenza umana, come apprendere, pensare, prendere decisioni, acquisire consapevolezza e coscienza, e che si connotano come intelligenza artificiale;
- I.O.T. - internet of things, acronimo che sta per 'internet degli oggetti', indica l'estensione del concetto di rete internet agli oggetti, specificando una rete di comunicazione che coinvolge macchine, strumenti, oggetti ed elementi fisici e che, nell'accezione avanzata dall'azienda Cisco, è 'IoE - internet of everything', contemplando la comunicazione tra dati, oggetti e persone;
- Big Data, quindi metodologie, tecniche e strumenti opportuni per analizzare e valorizzare, sia in termini storici che previsionali, una quantità particolarmente elevata di dati molto eterogenei e in costante e veloce cambiamento;
- Mixed Reality, la 'realtà mista' rappresenta il corpus di tecnologie, metodologie e dispositivi che utilizzano la AR - realtà aumentata, la AV - virtualità aumentata e la VR - realtà virtuale, agendo ininterrottamente lungo tutto il 'reality-virtuality continuum' e integrando di fatto la realtà fisica con quella virtuale.

In tale contesto la robotica rappresenta un tassello fondamentale per dare concreto e fattivo riscontro in termini di intervento, diventa cioè l'elemento principale per agire sui sistemi fisici, ma non può essere più intesa come avulsa dalla convergenza tecnologica caratterizzante l'intero paradigma industria 4.0.

Le grandi opportunità della nuova convergenza coincidono però anche con sfide che la quarta rivoluzione industriale pone al sistema economico del capitalismo cognitivo, all'apparato di *policy* e *politics*, e quindi indirettamente alla società-mercato, che sono molteplici e di gravosa entità, e rischiano minacce significative. Pur non potendo affrontare tali questioni in maniera approfondita, è opportuno accennare ai temi preponderanti: l'assenza di standard e modelli di riferimento in termini di qualità; una tendenziale ostilità al cambiamento e il basso coinvolgimento dei portatori di interesse, soprattutto istituzionali, e la conseguente mancanza di sistemi e processi di regolazione; la sicurezza e la stabilità dei sistemi, ancora incerti, le cui criticità potrebbero ripercuotersi direttamente come minacce alla vita delle persone e delle istituzioni; la ridondanza di processi, organizzazioni e ruoli in ambito informatico; l'incertezza sugli effetti che tale cambiamento determinerà nel mondo del lavoro, con il rischio di una ingente perdita di occupazione; la

mancanza di un adeguato paniere di competenze per i lavoratori e gli educatori e dunque un abbassamento dei livelli di professionalità; la necessità di ridisegnare il concetto di proprietà intellettuale e conoscenza industriale; più in generale una diffusa incertezza sulle effettive conseguenze della transizione al nuovo modello economico, con insistenti perplessità sui reali benefici che verranno generati ed un acceso strascico di dubbi fomentato dalla stridente dialettica tra *apocalittici* ed *integrati*.

Spostando l'attenzione al lato della domanda le innovazioni che riguardano i rapporti tra robotica ed economia sono ascrivibili alla diffusione di dispositivi, che già si affacciano al mercato di massa, e che introiettano il corpus di conoscenze, esperienze e tecnologie concretizzandolo in soluzioni d'offerta orientate al soddisfacimento di bisogni manifesti o latenti di cittadini e consumatori. La fuoriuscita dei robot dal solo campo di applicazione industriale ne stigmatizza la crescente incidenza su tutto il sistema della società-mercato. Questa tendenza è riscontrabile su più fronti: l'utilizzo di robot nell'industria culturale e dei media che, come sappiamo, non determina solamente la creazione di nuovi prodotti, ma agisce fortemente sulle dinamiche cognitive ed emotive e sulla creazione dei costrutti psico-sociali, candidandosi alla cerchia delle cosiddette psico-tecnologie (De Kerckhove, D.; 1997). Questo fenomeno di adozione diffusa è il riscontro comportamentale che, come noto nella letteratura specifica, trasforma l'invenzione in innovazione. Tale attenzione è confermata dall'utilizzo di soluzioni robotiche nel campo del marketing, che come sappiamo è uno dei principali driver dell'innovazione nella società, e dalla nascita di veri e propri filoni di sviluppo quali: la health robotics, quindi la robotica a supporto della medicina e del benessere, con molte applicazioni come la chirurgia robotizzata, le protesi robotizzate, la telepresenza; la robotica di servizio, che supporta l'intervento in situazioni di crisi, la domotica, le attività quotidiane e i processi lavorativi, o assiste persone con speciali necessità; la education robotics, che utilizza la robotica come metafora o strumento, in questo caso nell'accezione di micro-robotica, per l'educazione, o in versione ludica, con i robot da gioco per bambini; la entertainment e social robotics, nella quale i robot intrattengono, divertono, divulgano, socializzano o semplicemente tengono compagnia. In tutti i casi in cui i robot si trovano a stretto contatto con gli esseri umani, in cui quindi sono frequenti interazioni o interferenze, è pratica diffusa identificare i dispositivi con il termine *cobot*, ovvero robot collaborativi, che sono ideati per la collaborazione diretta con l'essere umano e sono in tal senso caratterizzati da elevati protocolli di sicurezza che minimizzano

il rischio di poter causare danni a persone o cose.

Se nel comparto industriale appare evidentemente più netta la differenza tra terza e quarta rivoluzione industriale, nell'ambito della società civile e del settore delle piccole e medie imprese questa distinzione è meno caratterizzata, ed anzi viene spesso affogata in quella che viene definita digital transformation. La trasformazione digitale viene intesa come l'insieme dei cambiamenti determinati dalle tecnologie digitali in tutti i comparti della società e del mercato. In un certo qual modo possiamo dire che la trasformazione digitale sta esauendo gli effetti della terza rivoluzione industriale, massificando l'utilizzo degli strumenti digitali ed incrementandone la pervasività, e al contempo sta accelerando l'implementazione e l'adozione dei costrutti e dei prodotti della quarta rivoluzione industriale, anticipandone di fatto gli effetti attesi. Tale trasformazione non si consuma con la semplice adozione degli strumenti digitali, ma investe la pianificazione, la strutturazione e la gestione dei processi, modificando difatti tutti i livelli della vita sociale, organizzativa ed economica.

### Brevi cenni storici ed etimologici

Il termine Robot deriva dal termine ceco robota che significa *“lavoro duro, lavoro forzato”*, comparso per la prima volta nel romanzo drammatico del 1920 R.U.R, in cui i robot sono esseri *“costruiti”* producendo artificialmente i corpi. In quest'opera l'autore immagina una società basata sul lavoro di robot semi-umani, mancanti solo dell'anima, che progressivamente si ribellano e sovrastano gli uomini. All'interno del romanzo di ormai un secolo fa emerge una dialettica estremamente attuale. Il robot Life spiega che: *“sì, gli uomini resteranno senza lavoro. Ma poi non ci sarà più bisogno di lavorare per nessuno. Tutto verrà fatto dalle macchine e l'uomo farà solo ciò che più gli piace. Vivrà solo per perfezionarsi”*. Dall'altro lato, l'architetto Alquist, dopo avere appreso che in un tale mondo le donne finiscono per non mettere più figli al mondo, denuncia il pericolo per la sua società *“Perché non è più necessario il dolore, perché l'uomo non deve fare più nulla, tranne che godere... Oh, che paradiso maledetto è questo! (...) non c'è niente di più terribile che dare alla gente il paradiso in terra.”* A conferire l'accezione moderna al termine robot è il chimico e romanziere Isaac Asimov, il quale nel 1942 utilizzò per la prima volta il termine robotica riferendosi ad automi e robot umanoidi e anticipando di circa 30 anni quello che sarebbe stato realizzato in Giappone dalla Waseda University di Tokyo: Watbot-1 il primo robot antropomorfo della storia. Dieci anni pri-

ma la General Motors diede avvio all'epoca dei robot industriali con il primo braccio meccanico, ancora oggi uno dei più comuni robot utilizzati nel settore automobilistico e manifatturiero. A partire dal 1985, l'impiego dei robot si è allargato anche al settore della medicina con Puma350, a supporto delle operazioni chirurgiche, e nel 1997 per le spedizioni nello spazio con Mars. Una svolta importante per la storia e lo sviluppo dei robot arriva nei primi anni 2000 con l'introduzione dell'intelligenza artificiale e del machine learning nei software dei robot. Ingegneri e scienziati sono intenti a sviluppare robot sempre più simili agli esseri umani in grado di comprendere la realtà sociale circostante e di apprendere dall'esperienza. La robotica, infatti, viene attualmente impiegata anche nella ricerca di base nel campo delle neuroscienze computazionali, con l'obiettivo di comprendere meglio il funzionamento dell'intelligenza umana. Altri più recenti campi di applicazione della robotica sono l'educazione e l'entertainment robotics.

### Sintesi di scenario

Dalle indagini di Kuka, dell'IFR, di SIRI e di Markets & Markets emerge un quadro di rapida crescita per il mercato della robotica industriale. Il valore del mercato della robotica ha raggiunto i 13,38 miliardi di dollari nel 2016 e ci si attende che nel 2023 corrisponderà ad un valore complessivo di 30,20 miliardi. In un report pubblicato nel 2017, l'IFR ha individuato i 5 principali mercati che coprono il 74% delle vendite totali nel settore della robotica: si tratta della Cina, della Corea del Sud, del Giappone, degli Stati Uniti e della Germania. La Cina rappresenta il più ampio mercato della robotica, coprendo il 30% di forniture totali nel 2016. Con un totale di 87,000 robot industriali, la Cina si avvicina alla somma dei volumi dell'Europa e delle Americhe. Il Sud Corea è il secondo mercato più grande, con circa 41,400 unità vendute nel 2016 ed un tasso di crescita del 50% dal 2011 al 2015, seguita dal Giappone per un totale di 38,600 unità. Al quarto posto si posizionano gli Stati Uniti che hanno raggiunto un picco di 31,400 unità nel 2016 e infine la Germania con 20,039 unità. L'IFR stima che dal 2016 al 2020 vi sarà un aumento del 15% annuo di robot industriali, raggiungendo le 52,100 unità nel 2020. In una indagine di Kuka, sono stati comparati i trend nell'impiego di robot tradizionali e di robot collaborativi. I cosiddetti *“robot tradizionali”* sono comparsi agli inizi degli anni 60, quando la prima applicazione su larga scala di robot fu perfezionata per l'impiego nell'industria automobilistica statunitense. Ad oggi sul mercato sono disponibili diversi tipi di robot in-

dustriali tradizionali tra cui i robot articolati, i robot cartesiani, gli SCARA robot e i robot paralleli. Per ciò che riguarda questa tipologia di robot, il settore automobilistico registra il più alto impiego di robot industriali, con 23,303 unità del 2017. I più alti tassi di crescita sono tuttavia attesi nel settore metalmeccanico con una crescita di più del 10% annui dal 2017 al 2023 e nel settore chimico della gestione della plastica e dei rifiuti con tassi di crescita del 8,3%. Per quanto riguarda invece i robot collaborativi, si tratta di smart robot progettati per affiancare il lavoro umano nella catena di produzione. L'alto ritorno di investimenti (RoI) rispetto ai robot tradizionali e il relativo basso costo hanno comportato un crescente interesse nella piccola e media impresa. Comparando i tassi di crescita dei robot tradizionali e dei robot collaborativi, si osserva che per i secondi sia previsto un aumento drasticamente più elevato pari al 63% di unità contro il 12,3% per i robot tradizionali. Secondo le stime di Markets & Markets, oggi i robot collaborativi rappresentano circa il 2,2% del totale dei robot industriali, ma nel 2023 rappresenteranno il 16,4% del totale dei robot industriali. Il mercato della robotica offre dunque una serie di opportunità: non solo le multinazionali, ma anche le piccole e medie imprese, nei paesi in via di sviluppo, sono interessate ad acquisire tali tecnologie. In secondo luogo, ci si attende che la crescente richiesta di robot collaborativi a basso costo e in grado di coordinarsi con il lavoro umano, sarà uno dei trend più importanti nel mercato della robotica nei prossimi cinque anni, specialmente in Europa. Seppur con volumi inferiori, anche in Italia si prevede un aumento del circa 7% annui di unità. Nel 2016 sono stati registrati 7288 robot industriali, pari al 2% del totale, e la quota prevista per il 2023 è di 11811 unità.

### **Interazione tra macchine ed uomini**

Sin dal primordiale utilizzo di strumenti a supporto dell'attività umana il tema dell'interazione tra essere umano e macchina ha assunto un'importanza centrale sia in termini di speculazione teorica che di risvolto pratico, con effetti visibili sulla progettazione e realizzazione di quelli che, da manufatti e utensili, sono poi diventati strumenti e prodotti, ed infine dispositivi. Con l'avvento delle tecnologie elettroniche, informatiche e dell'automazione, questo filone ha assunto ancor più centralità, fino a diventare il fulcro delle attività di progettazione, prototipazione e produzione. L'interazione uomo-macchina vede la convergenza funzionale di discipline tecniche ed umanistiche. Questa serie di riflessioni ed esperienze sfocia in quelle che oggi definiamo *UX - user experience*

e *UI - user interface*. Per esperienza utente vengono comunemente intese tutte le attitudini e le reazioni cognitive ed emotive che una persona vive durante la fruizione di un servizio o di un sistema, o all'atto di utilizzo di un prodotto. In questa definizione sono incluse le molteplici percezioni e risposte comportamentali che riguardano l'utilizzo pratico, in termini di usabilità e di efficienza, l'affezione emotiva, i significati e i valori che connotano l'utilizzo o il possesso di un prodotto o servizio. Questo insieme di atteggiamenti e comportamenti può avere in parte natura soggettiva, incrociandosi quindi con le caratteristiche del singolo individuo che si avvicina all'esperienza. Tale concezione è risultata così determinante da stimolare un nuovo paradigma economico, denominato appunto 'economia delle esperienze' (Pine, B. J., & Gilmore, J. H.; 1998). L'esperienza utente è fortemente determinata dal costruito della UI, che sta per user interface, che possiamo definire come lo spazio fisico, temporale e semantico che consente l'interazione tra uomo e strumento, quindi tra uomo e macchina. La finalità di qualsiasi interfaccia utente è quella di permettere la più efficace ed efficiente interazione con la macchina, agevolando il comportamento autonomo dell'utente e i suoi processi decisionali. Le caratteristiche della UI devono per quanto più è possibile assecondare i principi di usabilità, di facilità fino all'auto apprendimento, e piacevolezza. Questo significa che lo studio sulle interfacce tende all'ottenimento del risultato atteso, minimizzando sia il rischio di errore da parte della macchina, sia l'attività dell'utente, e quindi il suo sforzo. Naturalmente con l'avvento dei computer questa riflessione si è concentrata principalmente sulle interfacce grafiche, che hanno caratterizzato l'evoluzione del rapporto tra utente e macchina segnandone le tappe fondamentali, passando per la semplificazione dei sistemi operativi, che hanno segnato il processo di adozione del computer, sino ad arrivare all'introduzione e poi alla massificazione di smartphone e tablet, che hanno integrato la funzione touchscreen. La convergenza 4.0 di cui si è parlato necessita di un approccio più articolato perché, come detto, mette in relazione esperienze di comunicazione complesse 'M2M2M', ove vi sono reti complesse ed è possibile che l'uomo sia in contatto con esseri umani e macchine, così come lo sono le macchine. Ma questa confluenza di tecnologie, che caratterizza i sistemi cyberfisici, ha orientato ancora più avanti lo studio, spostando nuovamente l'attenzione su un tema che è sempre stato rilevante per lo sviluppo della robotica, ovvero il concetto di interfaccia naturale prima, e di interfaccia fisiologica poi. Se con le prime interfacce grafiche l'interazione dell'utente era spostata verso l'artificialità della macchina, sia in termini di inte-

razione, richiedendo l'utilizzo della tastiera, che dal punto di vista sintattico e semantico, necessitando di una specifica codifica per impartire un comando, con l'interfaccia naturale e fisiologica questa forzatura tende a scomparire, e l'obiettivo diventa la completa trasparenza dell'interfaccia, il non essere percepibile, e utilizzare codici già appartenenti all'essere umano, come il linguaggio, i gesti, o addirittura i pensieri e le emozioni, grazie all'utilizzo dei segnali bioelettrici. Questo tipo di approccio si sposa perfettamente con il paradigma 4.0, che pur spingendo ad altissimi livelli la tecnologia, perora esperienze ed interfacce di utilizzo ibride, in cui non sono percepibili discontinuità tra ciò che è artificiale e ciò che è naturale, ed in cui l'utente non ha alcuna difficoltà ad interagire con le macchine, senza alcuna necessità di formazione o apprendimento dedicato. Questo risultato è riservato all'utilizzatore finale, ma consegue in seguito ad una stratificazione di esperienze ed interfacce che prima di giungere, semplificate e naturali, fino all'utente generalista, devono soddisfare i vari operatori che agiscono sulla filiera del valore e si adoperano per la realizzazione dei dispositivi hardware, dei software per gli addetti ai lavori, ed infine per le interfacce immediate ed intuitive riservate ai consumatori. Sul miglioramento e potenziamento costante delle esperienze e delle interfacce, lungo tutti gli snodi di questa filiera, si gioca la partita della diffusione nel sistema economico della società-mercato di queste soluzioni integrate, tecnologicamente molto avanzate, ma mimetizzate nel paesaggio naturale ed abituale degli esseri umani.

Queste riflessioni si fondano sulla compilazione dei contributi ritenuti più rilevanti nell'ambito della pur giovane letteratura specifica, ma sono corroborate anche da un'esperienza diretta nell'ambito dell'entertainment robotics, orientata alle industrie creative e al business. Questa sperimentazione può essere d'interesse per comprendere alcuni aspetti dei rapporti tra robotica ed economia in qualità di caso di studio applicato, e per approfondire le nuove opportunità generate dall'introduzione di nuove tecnologie, declinabili anche in altri settori.

In merito al caso l'obiettivo generale è stato quello di introdurre la messa in opera di robot nati per uso industriale nell'ambito dell'entertainment, del marketing e della comunicazione, della valorizzazione culturale e divulgazione e, più in generale, dell'automazione non industriale. A tale scopo OSC Innovation è partner, con AVS Group, di KUKA Roboter, quest'ultima tra i leader mondiali della robotica industriale, da cui OSC ha acquisito competenze specifiche in questo settore, tali da renderla riferimento italiano per applicazioni con i robot KUKA in campo non industriale.

Il progetto è un'innovazione per la filiera dell'intrattenimento, degli eventi e della produzione multimediale, rappresentando un valore aggiunto specifico per tutti gli operatori del settore. Un framework di sviluppo e gestione di progetti che consente, anche a non esperti di robotica, di gestire l'interazione dei robot con persone ed oggetti – come dispositivi di riproduzione video, puntatori laser, telecamere – integrandovi, laddove utile, realtà virtuale e aumentata, il tutto con esperienze e interfacce semplici ed immediate. Quanto descritto rappresenta una novità nel settore di riferimento con una concreta ricaduta su un'intera e ampia filiera. Il progetto è fondato sull'opportunità di valorizzare e declinare la robotica nel settore specifico e nasce dall'esigenza di creare ambienti software, interfacce e processi in grado di unire il mondo della robotica industriale con quello delle aziende e dei professionisti del comparto entertainment, ma più in generale business e cultura. Questa attività di ricerca e sviluppo permette di: creare una soluzione che attualmente non è disponibile sul mercato, efficientare le attività di progettazione e produzione, ridurre i costi di produzione, aumentare le potenzialità applicative e di sviluppo del settore. Lo sviluppo è ancora in corso, anche se un primo ampio set di funzionalità sono già realizzate ed operative. Il tool, una sorta di macro plug-in dell'ambiente di sviluppo industriale KUKA, consente di gestire i robot attraverso software di uso comune per creatori e produttori di contenuti multimediali, creando così coreografie più o meno complesse e gestendo i contenuti multimediali. Grazie all'uso di camere infrarosso, sensoristica dedicata, periferiche, è possibile creare applicativi in cui i robot interagiscono con le persone e le cose. Il tool può lavorare in relazione alle specifiche esigenze dell'eventuale progetto, configurando i bracci robotici più adeguati con le migliori estensioni, montando in punta oggetti come pinze per la manipolazione di laser e punti luce, grandi monitor ledwall e piccoli tablet, prodotti, opere, e più in generale qualsiasi oggetto sia utile. Il software prevede in logica di API la possibilità di integrarsi con altri applicativi di realtà aumentata e virtuale, 3D mapping, app mobile e digitali, per estendere ulteriormente in concetto di interattività. Grazie all'attenzione agli standard di sicurezza il tool consente di gestire i robot anche in modalità collaborativa - cobot, in relazione ad interazioni con esseri umani. Questo permette di integrare la robotica sul palco in eventi, presentazioni, conferenze, show ed apre molte nuove possibilità per la creazione di spazi dinamici ed interattivi. Il software permette di gestire robot che possono movimentare ledwall, con grafiche in sincronia con il fondale, animare la scena e gli oggetti, muovere dispositivi, supportare discorsi,

dando accesso ad una gamma di potenzialità finora impossibili.

Le attività di ricerca e sviluppo sono basate sulla verifica degli strumenti applicativi già esistenti per la filiera della robotica orientata all'intrattenimento e alla produzione multimediale, e individuano aree scoperte lungo il processo di produzione e gestione dei progetti, ove quindi poteva essere interessante il lancio di una soluzione ad hoc. Le attività, oltre che sull'approfondimento teorico e applicativo delle dinamiche di funzionamento dei robot, si sono concentrate anche sull'analisi dei fabbisogni reali degli operatori della filiera specifica, definendo una serie di necessità e opportunità da tenere in considerazione per lo sviluppo del progetto. La progettazione esecutiva è sfociata nella prototipazione generale delle componenti hardware e software, in particolare realizzando una centralina di controllo aggiuntiva per i robot e un primo sistema di regia dedicata. Questo ha permesso lo sviluppo di alcune funzioni specifiche, che sono state già testate e implementate in casi reali. I lavori proseguiranno con la prototipazione e il test di altri moduli applicativi e con lo sviluppo della UI - user interface, coinvolgendo per queste attività in prima battuta operatori specializzati sia sul fronte della robotica che della produzione multimediale, ed in seconda istanza una serie di stakeholder lungo tutta la filiera, ai fini di ottenere preziosi feedback per il miglioramento delle soluzioni. Il futuro sarà dedicato allo sviluppo delle integrazioni in termini di intelligenza artificiale, per l'interattività, ma anche al fine di coinvolgere le macchine nella risoluzione delle criticità che normalmente occorrono nelle lavorazioni.

Le problematiche più rilevanti affrontate sono: la necessità di partnership con un adeguato produttore, risolta trasformando la collaborazione in un'opportunità di sviluppo per tutti i partner coinvolti; il potenziamento del team di ricerca, risolta grazie al dialogo con l'Università; i limiti e le differenze degli ambienti di sviluppo dedicati all'automazione solo industriale, risolti progettando un ponte in termini di software e hardware verso altre soluzioni dedicate al mercato specifico. Le altre problematiche affrontate e tuttora in via di risoluzione sono: l'assenza del concetto di interfaccia dinamica *what you see is what you get*; l'integrazione esaustiva tra il software macchina e le interfacce utente; lo sviluppo di un' esaustiva gamma di funzionalità ed effetti; l'elaborazione di un pacchetto omnicomprendivo in grado di gestire, senza l'intervento di figure tecniche specializzate in robotica, tutti gli aspetti fondamentali della produzione on set con questa tecnologia, ad esempio la sicurezza nell'interazione uomo-macchina, il pericolo di collisioni e auto-collisioni del robot, il rispetto dei limiti di

posizione, velocità e accelerazione di ogni specifico modello di robot; l'esigenza di avere delle macchine che si possono trasportare e installare per brevi periodi e non contestualizzate in ambienti di produzione fissi come fabbriche e impianti; la specificità dei processi nella gestione delle quasi-macchine, i robot non programmati, e delle macchine, i robot programmati e funzionanti, in contesti espositivi e legati all'industria dell'intrattenimento e dell'edutainment.

Gli addetti ai lavori del mercato possono beneficiare delle funzioni introdotte e dei risultati intermedi che sono stati raggiunti: possibilità di utilizzo di prototipi avanzati, migliorate funzionalità in merito a progettazione dedicata e simulazione in integrazione con i principali standard di settore, come DMX e Time Code. Il tool diventa d'appello per tutta la filiera dei creatori e produttori di esperienze ad alto impatto estetico e artistico, con esseri umani e macchine che cooperano in tempo reale. La robotica valorizza installazioni in contesti espositivi temporanei e permanenti, parchi tematici e di intrattenimento, soluzioni dedicate all'edutainment e alla divulgazione. Con grande risultato in termini di ingaggio, si animano giostre interattive, totem per la comunicazione, opere artistiche, con robot dedicati alla movimentazione di oggetti e persone. Una serie di template dedicati, una playlist di prototipi e demo di soluzioni avanzate e già fattibili, che diventano suggestioni per creare applicazioni all'avanguardia. Spunti che possono essere declinati per le esigenze specifiche dell'operatore, del prodotto, del progetto, aprendo a nuovi scenari ed opportunità come vetrine robotiche interattive, simulatori evoluti, robot videogame gestibili da smartphone e sensori, e integrazioni tra più tecnologie.

### **Innovazione e trasformazione del lavoro**

Negli ultimi anni il dibattito sull'impatto dei robot nella trasformazione del lavoro risulta essere polarizzato. Da un lato vi è chi sostiene che la rivoluzione industriale 4.0 seguirà traiettorie simili alle precedenti rivoluzioni industriali le quali, a discapito degli allarmismi, hanno condotto ad una crescita economica e alla creazione di nuove professioni. Altri invece sostengono che la quarta rivoluzione industriale non sia paragonabile alle precedenti a causa di una sostanziale novità: la crescente capacità di riprodurre funzioni dell'intelligenza umana. Per tale ragione le abilità in cui gli uomini mantengono un vantaggio rispetto alle macchine sono prossime a diminuire drasticamente. Le ricerche hanno mostrato in maniera consistente che i lavori a più alto rischio di automazione colpiranno i posti di lavoro con più bassi livelli di retribu-

zione e competenza, comportando un crescente livello di iniquità sociale. Secondo Brynjolfsson e McAfee (2014) si assisterà ad una più radicale redistribuzione della ricchezza. La maggior parte del valore prodotto finirà nelle mani di una porzione molto piccola della popolazione producendo il cosiddetto “*superstar-biased technological change*” l’effetto per cui la ricchezza sarà concentrata in una nicchia sempre più ristretta della popolazione, stimata allo 0,01% (Piketty & Saez, 2003, dati aggiornati a giugno 2016).

È interessante osservare che il dibattito degli ultimi anni sembra essersi concentrato non tanto sugli aspetti qualitativi della trasformazione del lavoro, quanto su quelli puramente occupazionali, in particolare il numero di posti di lavoro e i tipi di professione a rischio di automazione (un esempio paradigmatico è l’indagine di Frey e Osborne del 2013). Ciò che risulta meno esplorato è invece l’impatto dei nuovi strumenti di mediazione sulle modalità e le pratiche di lavoro. Fare previsioni sul lavoro del futuro è estremamente complesso, anche perché dipende da tecnologie che oggi ancora non esistono (Seghezzi, 2017). Il CEA ha sintetizzato ed esteso le ricerche sui lavori che potrebbero essere direttamente creati dall’Intelligenza Artificiale e ha identificato quattro categorie di settori professionali in crescita:

1. Engagement: il lavoro in cui uomo e macchine operano in maniera complementare.
2. Development: il lavoro di chi svilupperà le tecnologie.
3. Supervision: il lavoro di chi è in grado di monitorare e riparare le tecnologie.
4. Response to Paradigm Shift: qualcuno che sia in grado di riprogettare gli ambienti in funzione delle tecnologie emergenti.

Inoltre, considerando la relazione sempre più complessa tra robotica e intelligenza artificiale, i settori professionali riguardanti lo studio della mente, del comportamento e dell’intelligenza umana (psicologia, neuroscienze, neurobiologia e così via) giocheranno un ruolo centrale in sinergia con chi si occuperà dello sviluppo tecnologico. Un esempio di applicazione interdisciplinare, sono le sperimentazioni del MIT sulla prima cosiddetta “*intelligenza artificiale psicopatica*”, chiamata Norman. L’algoritmo, dopo essere stato istruito attraverso immagini macabre e di morte reperite dal database di Reddit, vedeva nelle famose macchine di Roscharch, utilizzate per la valutazione psicologica, scenari come “*un uomo sparato di fronte alla sua moglie urlante*”. Risulta dunque indispensabile per una valutazione dell’impatto della tecnologia sulla trasformazione del lavoro non basarsi unicamente su dati quantitativi, in quanto si rischierebbe di incorrere nella fallacia di McNamara, ossia ignorare aspetti ri-

levanti e non facilmente misurabili per lo studio di un fenomeno complesso. Per ciò che riguarda gli aspetti qualitativi di tale trasformazione, Romero e colleghi (2016) spiegano che l’industria 4.0 fornisce nuove opportunità di interazione tra operatori e macchine, interazioni che trasformeranno la forza lavoro. Una parte importante di questa trasformazione è l’enfasi sulla centralità umana delle Industrie del Futuro, che si muove verso una simbiosi tra uomo-automatizzazione (o sistema fisico Human-Cyber) caratterizzata dalla cooperazione delle macchine con gli umani, progettati non per sostituire competenze e abilità umane, bensì per co-esistere e assistere gli umani nell’essere più efficaci ed efficienti. I sistemi fisici Human-Cyber (H-CPS) sono progettati per:

- a) aumentare le abilità umane di interagire dinamicamente con macchine nello spazio fisico e cyber attraverso interfacce “*intelligenti*”, progettate per soddisfare i bisogni fisici e cognitivi degli operatori e
- b) per sviluppare l’esperienza sensoriale e cognitiva degli esseri umani, attraverso diverse tecnologie (ad esempio wearable devices). L’automazione adattiva mira a raggiungere la simbiosi tra uomo e macchina attraverso una redistribuzione dei compiti che porti all’ottimizzazione delle competenze umane e favorisca la soddisfazione lavorativa da un lato e gli obiettivi produttivi dall’altro. Un’altra trasformazione qualitativa riguarderà una crescente necessità di organizzare team di lavoro interdisciplinari, in grado di coordinare conoscenze e competenze molto diverse tra loro. Per sviluppare e testare robot autonomi, dotati di intelligenza artificiale e in grado di apprendere dall’esperienza, sarà necessario mettere in comune conoscenze del settore informatico con studi del campo neuro scientifico e psicologico. Ciò sarà possibile solo se il lavoratore del futuro sarà in grado di mettere a fattor comune il proprio know-how, negoziare e gestire la complessità in gruppi ad alta specializzazione. In tale quadro, per ciascuna professione sarà necessario affiancare alle proprie competenze tecniche, un repertorio di soft skills funzionali al successo del lavoro in team multidisciplinari. Le previsioni sulla trasformazione del lavoro dovrebbero spingere le istituzioni educative a ripensare i loro percorsi, considerando i rischi connessi alla rapida obsolescenza di competenze e conoscenze tecniche dovute alla trasformazione tecnologica e all’automazione. Durante l’Education World Forum svoltosi a Londra a gennaio del 2018, il ministero della ricerca tecnologica e dell’educazione superiore

(MoRTHE) dell'Indonesia ha presentato un intervento dal titolo *"Policy for Curriculum and Competencies in the 4th Industrial Revolution (4-IR)"*. L'idea è di rispondere alle trasformazioni economiche ripensando i percorsi universitari, affiancando a forme di literacy tradizionali – abilità di lettura, scrittura e matematica – abilità di comprensione dei dati, dei sistemi tecnologici e delle abilità umane, competenze di leadership e di lavoro in gruppo, competenze interculturali e spirito imprenditoriale. Altre abilità cruciali secondo il MoRTHE sono il pensiero critico e la capacità di apprendere continuamente in quanto implicano la possibilità di prevedere, comprendere e adattarsi ai cambiamenti degli scenari.

Lo sviluppo di tecnologie e robot intelligenti ridurrà drasticamente il bisogno di molti dei lavori che conosciamo oggi e dall'altro lato creerà la necessità di nuove competenze, sia tecniche che trasversali. Le previsioni riguardanti il super biased technological change, implicano che l'intera società necessiti di pensare alla possibilità di individuare approcci alternativi alla distribuzione delle risorse, rispetto al tradizionale scambio tra lavoro e retribuzione. La direzione dell'innovazione non è uno shock casuale per l'economia ma è il prodotto di decisioni prese dalle compagnie, dai governi e dagli individui. Se da un lato fattori economici possono guidare la direzione della trasformazione tecnologica dall'altro i policy-makers hanno il ruolo di favorire lo sviluppo degli effetti positivi e di contenere quelli negativi.

### **Le sfide del presente-futuro**

Se molte sono le minacce, le criticità, le profezie distopiche evocate dalla convergenza tecnologica 4.0, altrettante sono le opportunità che possono e devono essere colte per valorizzare positivamente l'enorme potenziale degli strumenti che stiamo analizzando. La trasformazione epocale cui stiamo assistendo ci ha costretto ad una riflessione che mai forse è stata così insistente sull'aspetto strategico e sistemico che viviamo. Questo evidenzia ancor più che nel passato il tratto essenziale del concetto stesso di innovazione, questa non è, come in molti casi confusamente si crede, la generazione di qualcosa di nuovo – che è invece l'invenzione o la creazione – ma è bensì l'adozione del nuovo da parte della società-mercato, o comunque da parte di un gruppo di persone. Ciò significa che l'innovazione non è un elemento tecnologico, tecnico o artistico, ma è un tema squisitamente comportamentale, ed è in quanto tale sociale e politico nei suoi effetti, e psico-sociale nelle sue cause. Valorizzare il

paradigma 4.0 vuol dire quindi porre attenzione alle persone ed alle strategie, prima e più che alle tecnologie.

L'intelligenza artificiale corre veloce lungo le reti neurali e cresce esponenzialmente col Deep Learning – l'apprendimento approfondito che impara a generare concetti più alti a partire dalla conoscenza di quelli più bassi – srotolando un filo rosso che unisce la sconfitta del campione di scacchi Kasparov nel 1997 ad opera del computer Deep Blue, con quella perpetrata dal computer Alpha Go ai danni di Lee Sedol, campione del complessissimo gioco cinese Go. Questo è probabilmente l'ultimo momento storico in cui l'intelligenza umana, pur ormai ampiamente superata in termini computazionali da quella artificiale, è ancora sotto il controllo dell'essere umano, che ne può dirigere lo sviluppo, orientandone positivamente gli effetti.

L'avvento della biorobotica ha aperto le porte a potenzialità che traboccano in scenari fino a pochi anni fa confinati alla fantascienza. Il *moderno Prometeo* non è più frutto di mirabolanti fantasie e, oltre ad impegnare l'*intelligenza collettiva* di intere reti di scienziati in crowd sourcing, eccita i più disparati pensieri ed azioni nella variopinta realtà del transumanesimo, che raccoglie limpide escatologie così come foschi deliri.

L'innovazione trasforma il lavoro, distruggendo alcuni dei principi basilari che lo hanno retto in età moderna, ma al contempo ne esalta gli aspetti più sfuggenti, come l'immaginazione, l'intuito, il sentimento, l'emozione, che non sono solo totem romantici, ma rappresentano ambiziosi limiti da superare, e bussole di orientamento per valorizzare l'intelligenza artificiale come quella umana.

Eppure in questa tecnocrazia dilagante, e proprio grazie alla tecnologia imperante, si torna a parlare di etica. La roboetica, quindi lo studio degli aspetti etici delle relazioni tra robot ed esseri umani, è un tema che sarà sempre più vivo, e che dobbiamo inquadrare innanzitutto come opportunità, ma come opportunità innanzitutto di tornare a parlare di etica, di porre nuovamente anche l'etica al centro della riflessione sociale. E se i robot acquisiranno consapevolezza di sé, sarà giusto continuare a considerarli degli oggetti? E se no, come dovranno essere considerati? Sarà opportuno utilizzarli per l'esecuzione di compiti gravosi? Che diritti e che doveri dovranno avere? In che rapporti dovranno porsi con gli uomini? E che relazioni dovranno svilupparsi tra loro? Chi sarà responsabile delle loro azioni? Sarà opportuno lasciare che si occupino dell'educazione dei nostri figli o dell'accudimento dei nostri anziani? Permettere che siano destinati al ruolo di robot sessuali? Sarà giusto consentirne la proprie-

tà? Nei prossimi anni queste saranno solo alcune delle domande che lamenteranno urgenti, spesso gravose, ma necessarie risposte. Le famose tre leggi della robotica di Asimov sono forse diventate una impellente realtà? Probabilmente sì, se pensiamo che già nel 2017 il Parlamento Europeo intima alla Commissione Europea l'istituzione di una legge sull'intelligenza artificiale. La necessità di tornare a parlare di etica. O l'opportunità. È chiaro che tornando a parlare di etica, si dovrà necessariamente tornare a parlare di morale.

Ma ancor di più il paradigma 4.0 può diventare ispirazione per metafore di cambiamento che riguardino l'intera umanità:

- la rinnovata attenzione all'etica come fondamento di una ritrovata visione sociale, civile e politica;
- lo studio dell'immaginazione, della creatività, dell'intelligenza emotiva come crescita umana e sociale, prima e più che come limite da superare dell'intelligenza artificiale;
- IA più che AI, l'artificio intelligente più che l'intelligenza artificiale, ovvero di come applicare l'intelligenza artificiale per elevare benessere e felicità e non solo per produrre automobili che si guidino autonomamente;
- l'intelligenza ibrida, una cooperazione sostenibile tra l'uomo e la macchina con aumento del benessere del sistema;
- l'internet intelligente di tutte le cose come visione eco sistemica della realtà e come interconnessione tra tutti gli esseri viventi e inanimati;
- la convergenza tra le intelligenze, e tra le scienze e le arti;
- l'augmented learning come educazione ad una realtà aumentata metafora di un mondo prospero e felice.

E infine gli esseri umani sono capaci di immaginare tutte queste grandiose intelligenze, quindi prima o poi riusciranno anche a realizzare la propria.

## Bibliografia

- Automation A. (1985). *Robotics Technology for the Space Station and for the US Economy*. NASA Technical Memorandum, 87566.
- Bellezza A. (2017). *Verso Una Pedagogia Dell'innovazione*, Anicia, Roma.
- Bellezza A., Caggiano V., Gonzalez-Bernal J., De La Fuente-Anuncibay R., Sedano-Franco J. (2017). *Augmented reality: applications in business and education*, DYNA, 92(3). 288-292. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8066>.
- BMBF-Internetredaktion (21 January 2016). "Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - BMBF", Bmbf.de. Retrieved 2016-11-30.
- Bounfour A. (2016). *Digital Futures, Digital Transformation, Progress in IS*. Springer International Publishing, Cham.
- Brynjolfsson E., McAfee A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*, WW Norton & Company.
- Chaouchi H. (2010). *The Internet of Things*, London: Wiley-ISTE.
- Citi L. (2009). "Development of a neural interface for the control of a robotic hand", Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, Italy: IMT Institute for Advanced Studies Lucca: 5. Retrieved 7 June 2014.
- Cohen A., Erickson J. (1985). *Future uses of machine intelligence and robotics for the space station and implications for the US economy*, IEEE Journal on Robotics and Automation, 1(3), 117-123.
- De Kerckhove D. (1997). *The skin of culture: Investigating the new electronic reality*, Taylor & Francis US.
- Frey C.B., Osborne M. (2013). *The future of employment. How susceptible are jobs to computerisation*.
- Griffin B., Baston L. (2014). "Interfaces", (Presentation): 5. Archived from the original on 14 July 2014, Retrieved 7 June 2014. The user interface of a mechanical system, a vehicle or an industrial installation is sometimes referred to as the human-machine interface (HMI).
- Hersent O., Boswarthick D., Elloumi O. (2012). *The Internet of Things: Key Applications and Protocols*, Chichester, West Sussex: Wiley.
- Hughes C.E., Stapleton C.B., Hughes D.E., Smith E.M. (2005). *Mixed reality in education, entertainment, and training*, IEEE computer graphics and applications, 25(6), 24-30.
- Hutter M. (2005). *Universal Artificial Intelligence*, Berlin: Springer. ISBN 978-3-540-22139-5.
- International Organization for Standardization (2009). *Ergonomics of human system interaction - Part 210: Human-centered design for interactive systems (formerly known as 13407)*, ISO F±DIS 9241-210:2009.
- Jackson P. (1985). *Introduction to Artificial Intelligence (2nd ed.)*, Dover, ISBN 0-486-24864-X.
- Kapek K. (1920). *R.U.R. Rossum's Universal Robots*, Translated by Paul Selver and Nigel Playfair.
- Kappler K., Schrape J.-F., Ulbricht L., Weyer J. (2018). "Societal Implications of Big Data", KI - Künstliche Intelligenz. Vol. 32 no. 1. Springer. doi:10.1007/s13218-017-0520-x.
- Mayer-Schönberger V., Cukier K. (2013). *Big Data: A Revolution that Will Transform how We Live, Work, and Think*, Houghton Mifflin Harcourt. ISBN 9781299903029.
- Milgram P., Takemura H., Utsumi A., Kishino F. (1994). "Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum" (pdf), Proceedings of Telemanipulator and Telepresence Technologies. pp. 2351-34. Retrieved 2007-03-15.
- Ministry of Research Technology and Higher Education (2018, January), Policy for Curriculum and Competencies in the 4th Industrial Revolution (4-IR) retrieved by <https://www.theewf.org/uploads/pdf/D1-16.00-HE-Dr-Mohamad-Nasir.pdf>.
- Piketty T., Saez E. (2003). *Income inequality in the United States, 1913-1998*, The Quarterly journal of economics, 118(1), 1-41.
- Pine B.J., Gilmore J.H. (1998). *Welcome to the experience economy*. *Harvard business review*, 76, 97-105.
- Romero D., Bernus P., Noran O., Stahre J., Fast-Berglund Å. (2016, September). *The Operator 4.0: human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems*, in IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (pp. 677-686). Springer, Cham.
- Seghezzi F. (2017, January). *Dal sommerso ai robot: lo stato di salute del lavoro e le sfide che ci aspettano*, retrieved by <https://www.valigiablu.it/lavoro-disoccupazione-robot/>
- Stapleton C.B., Hughes C.E., Moshell J. M. (2002, October). *Mixed reality and the interactive imagination*, in Proceedings of the

First Swedish-American Workshop on Modeling and Simulation (pp. 30-31).

Westerman G. Bonnet D., McAfee A. (2014). *Leading Digital: Turning technology into business transformation*, Harvard Business Press.

## Sitografia

[https://www.cisco.com/c/m/it\\_it/tomorrow-starts-here/ioe.html](https://www.cisco.com/c/m/it_it/tomorrow-starts-here/ioe.html)  
<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/Industrial-Robotics-Market-643.html>  
<https://ifr.org/ifr-press-releases/news/ifr-forecast-1.7-million-new-robots-to-transform-the-worlds-factories-by-20>  
<http://norman-ai.mit.edu>  
<https://www.logicallyfallacious.com/tools/lp/Bo/LogicalFallacies/237/McNamara-Fallacy>  
<https://www.whitehouse.gov/sites/whitehouse.gov/files/images/EMBARGOED%20AI%20Economy%20Report.pdf>

### ANDREA BELLEZZA

Esperto in innovazione strategica e new media AR-VR-IOT, fondatore del progetto OSC Innovation - <http://oscinnovation.it/>, factory che cura creatività e innovazione per business, marketing e automazione, Andrea Bellezza è da sempre interessato alla generazione di valore derivante da iniziativa e innovazione. Ha realizzato l'ap-prodo in Italia della Realtà Aumentata, come rappresentante del network mondiale di sviluppo Total Immersion, diventando punto di riferimento per questo settore. Presidia il mercato dell'innovazione per il business, nel quale ha gestito progetti per clienti tra cui Q8, RCS, MSD, Maserati, American Express ed altri, operando in Italia, Spagna, USA, Cina, Messico; presiede una filiera d'eccellenza seguendo come consulente una rete di partner di valore. In passato collaboratore de 'La Sapienza', ha conseguito un PhD cum laude in Educazione presso l'Universidad De Burgos, è Cultore

della materia Psicologia del Lavoro presso Roma III, collaboratore della John Cabot University e Mentor per l'Universidad de Oriente, con focus sul tema pedagogia dell'innovazione.

### VALERIA CAGGIANO

Ha un dottorato in ricerca in Psicologia del lavoro e delle risorse umane presso l'Università Pontificia di Salamanca, Spagna e un Master Europeo in Europlanner a Bruxelles. È specializzata in psicoterapia cognitiva e comportamentale. È ricercatrice di psicologia del lavoro e dell'organizzazione presso l'Università di ROMA TRE. Lavora come consulente per aziende pubbliche e private nei settori della formazione e dello sviluppo del benessere organizzativo e, con paesi emergenti, sull'educazione alla formazione a distanza, concentrandosi sull'educazione all'imprenditorialità. È stata Direttrice internazionale della Rome Business School di Roma e ha facilitato accordi e progetti internazionali tra paesi e governi. È stata coordinatrice internazionale per la "International Summer School of Entrepreneurship" presso l'Università di Salamanca ed è stata precedentemente coordinatrice del Master in gestione delle risorse presso l'Università LUMSA di Roma. Ha fondato DoinGlobal, una spin-off dell'Università di Salamanca, dedicata alla formazione e-learning sull'imprenditoria. È una delegata internazionale di Let's go mate, una start-up inglese, dedita all'organizzazione, alla pianificazione, alla progettazione di corsi di inglese in Inghilterra per adulti e adolescenti.

### FRANCESCA AMENDUNI

Attualmente Membro del Comitato Esecutivo Collaborative Knowledge Building Group - CKBG, Bari (Italia). Freelance Writer. Tutor e-learning presso Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari. Dottorato di ricerca in "Comunicazione Educativa" presso Università degli Studi di Roma Tre, Roma.

### Contatti:

[andrea.bellezza@getonscreen.it](mailto:andrea.bellezza@getonscreen.it)

# GLI ULTIMI 20 ANNI NELLO SVILUPPO DI TERAPIE PER LA MALATTIA DI ALZHEIMER: UN'ANALISI PER IL RILANCIO DI NUOVI PARADIGMI DI STUDIO

Marcello D'Amelio e Nicola Biagio Mercuri

## Riassunto

La Demenza affligge, nel mondo, circa 47 milioni di persone e molte di queste soffrono della malattia di Alzheimer, la forma di demenza più frequente. I dati epidemiologici sono preoccupanti e si stima che il numero di pazienti possa raddoppiarsi nei prossimi 20 anni, con pesanti costi per le famiglie e il servizio sanitario [1,2].

Questi dati unitamente al fatto che molti trials clinici non hanno fornito i risultati attesi ci impone una profonda riflessione mirata a riconsiderare i meccanismi molecolari alla base della malattia, conoscenza cruciale per un'efficace strategia terapeutica.

**Parole chiave:** Il potenziamento della ricerca per nuove opportunità terapeutiche; ruolo della ricerca di base; necessità di una maggiore interazione tra ricerca di base, clinica e farmaceutica; costi della malattie neurodegenerative.

## Summary

About 47 million people in the world suffer from dementia and many suffer from Alzheimer's disease, the most common form of dementia. Epidemiological data are worrying and it is estimated that the number of patients can double in the next 20 years, with heavy costs for families and the health service.

These data, together with the fact that many clinical trials did not provide the expected results, prompts us to reconsider the molecular mechanisms underlying the disease, a crucial knowledge for an effective therapeutic strategy.

**Keywords:** Strengthening research for new therapeutic opportunities; role of basic research in neurological disorder; interaction between basic, clinical and pharmaceutical research; thr cost of neurodegenerative diseases.

## 1. La lunga strada dello sviluppo di un farmaco

La *ricerca di base* studia le cause e i meccanismi fondamentali della malattia i cui risultati potenzialmente possono portare a nuovi farmaci e trattamenti.

In altri termini la ricerca di base offre uno spunto di ricerca, l'idea in Figura 1, da cui emergono uno o più bersagli a cui nuovi potenziali farmaci potrebbero essere in grado di mirare.

La *ricerca farmaceutica* usa queste conoscenze

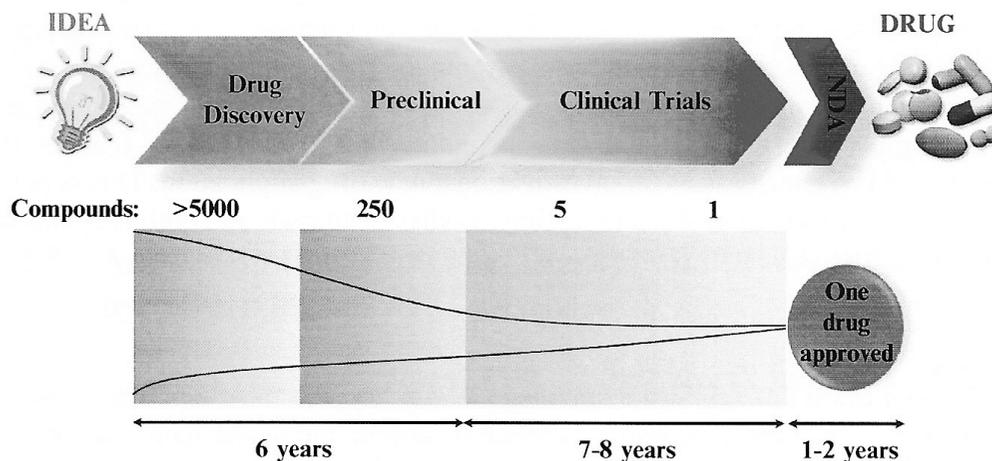


Fig. 1. Sviluppo di un farmaco: dalla sperimentazione in vitro alla disponibilità di un nuovo farmaco (M. D'Amelio e F. Cecconi, Apoptosome: An up-and-coming therapeutical tool, [3]).

per produrre nuovi strumenti di cui i ricercatori necessitano per valutare candidati e potenziali farmaci capaci di agire sui bersagli che la ricerca di base ha individuato.

Per fare questo i ricercatori lavorano a:

- validare i target individuati;
- scoprire la potenziale molecola che interagisce con il target individuato;
- testare la nuova molecola in laboratorio su modelli cellulari ed animali di malattia e quindi in clinica al fine di definire il suo profilo di sicurezza ed efficacia;
- rendere disponibile il nuovo farmaco in clinica per la somministrazione al paziente;

L'intero processo di *Drug Discovery* dura in media 10-15 anni e su oltre 5000 molecole che inizialmente sono testate solo una, nella migliore delle ipotesi, sarà la molecola approvata dall'Agenzia del farmaco.

## 2. Cosa non ha funzionato nel processo di sviluppo di farmaci contro la malattia di Alzheimer?

Sono trascorsi oltre 100 anni da quando *Alois Alzheimer* ha descritto, degenerazione neuronale, placche extracellulari contenente la proteina beta amiloide 40/42 e grovigli neurofibrillari intracellulari contenenti la proteina tau iperfosforilata nel cervello di una sua paziente che presentava deficit cognitivi e caratteristiche neuropatologiche di quella che oggi è conosciuta come *malattia di Alzheimer*.

Nel corso di questi anni le placche di beta amiloide e i grovigli di tau hanno rappresentato il *focus* principale della ricerca in ambito di malattia di Alzheimer. Le ragioni per la persistenza di questo focus sono attribuibili:

- a) al fatto che placche e grovigli sono stati i primi segni anatomo-patologici della malattia;
- b) alla disponibilità di metodiche, largamente accettate, finalizzate alla loro identificazione.

Purtroppo questo focus, ad oggi, non ha portato a grandi risvolti come testimoniato dai risultati di recenti *clinical trials* [4-9].

Il paradigma di studio adottato fino ad oggi non ha portato a una comprensione comune della “prima causa” della malattia (ammesso che esiste una sola causa comune a tutti i casi di Alzheimer) con l’eccezione di quei casi (forme genetiche di malattia) dovute a mutazioni specifiche del DNA.

Pur non essendo noto il primo/i evento/i della cascata neurodegenerativa che, nel tempo, si verifica nel cervello di un paziente che sviluppa malattia, sono stati creati modelli sperimentali di Alzheimer che hanno rappresentato, discutibilmente, una situazione

incompleta nel migliore dei casi e, a volte, fuorviante.

Modelli transgenici di malattia, solitamente topi, sono stati creati per ricapitolare alcune caratteristiche della malattia umana sia dal punto di vista clinico (ad es. alterazioni di memoria, cognizione) che neuropatologico (ad esempio, placche e grovigli) caratteristiche della malattia umana.

Sebbene molti lavori scientifici condotti sui modelli sperimentali di malattia siano stati utili nella comprensione di processi selezionati e associati alla malattia essi, a tutt’oggi, non si sono rivelati estremamente significativi per migliorare la condizione dei malati di Alzheimer.

Certamente, l’attenzione sull’amiloide e sulla proteina tau ha portato a importanti e utili conoscenze e altre acquisizioni sicuramente verranno. Tuttavia, sta diventando sempre più chiaro che le placche e i grovigli possano rappresentare eventi relativamente tardivi nella cascata molecolare/cellulare causata dalla malattia e la loro formazione può verosimilmente servire come surrogato di fenomeni fondamentali precedenti che devono essere ancora individuati e meglio compresi.

La mancata comprensione della completa sequenza degli eventi molecolari e cellulari nella progressione della malattia che sono il risultato di cambiamenti (patologici) di espressione di centinaia di geni impone una riflessione articolata su quanto finora prodotto al fine di proporre nuovi paradigmi di studio.

## 3. Parte della ricerca farmaceutica rinuncia e passa la palla alla ricerca istituzionale di base

Risale a qualche mese fa la notizia della rinuncia della Pfizer alla ricerca di farmaci per la cura della malattia di Alzheimer [9]. Alla medesima decisione era giunta in precedenza anche la Merck. Come detto nel paragrafo precedente, gli esiti terapeutici e clinici degli ingenti investimenti attuati sull’Alzheimer nell’ultimo ventennio si sono rivelati, infatti, deludenti.

È stato scritto molto su questa notizia paventando la possibilità che la malattia di Alzheimer possa diventare una malattia negletta, in altre parole una malattia sulla quale l’industria farmaceutica non trova convenienza a investire.

Sarebbe il caso che la ricerca industriale fosse richiamata alla propria responsabilità sociale, giacché le scelte industriali non dovrebbero essere solamente dettate dal mercato.

Ovviamente la notizia della rinuncia delle aziende unitamente ai titoli di giornali ha suscitato un grande *battage* mediatico che ha avuto come unico risultato

quello di procurare ulteriore sconforto nelle famiglie di pazienti.

Non ci sono state, invece, risposte forti da parte dei governi cui spetta avere la consapevolezza e la visione di porre in essere misure per promuovere la ricerca di base ed anche quella industriale.

Infatti, analizzando rapidamente alla Figura 1 vediamo come si è concluso un ciclo di studio che è partito dall'idea (placche di beta amiloide) fino alla realizzazione di farmaci (inibitori della gamma-secre-tasi; anticorpi contro la beta amiloide...) che sebbene da una parte non sono risultati efficaci nel bloccare la progressione della malattia dall'altra si stanno rivelando altrettanto importanti per rivedere e discutere tutti i *pitfalls* delle sperimentazioni attualmente condotte al fine di proporre nuove e forse "più efficaci e sicure".

Dunque, la ricerca farmacologica è in attesa di ripartire da nuovi validi spunti, nuove idee, che responsabilmente la ricerca di base deve fornire.

In Italia per la ricerca di base si spende sempre meno, poco più dell'1% del PIL, e quel poco messo a disposizione si è speso recentemente per sostenere in primo luogo la ricerca applicata (vedi bandi cluster e smart cities) nella speranza di avere un rapido ritorno di trasferimento tecnologico. L'unico bando nazionale per la ricerca fondamentale (PRIN) – fonte di finanziamento per ricerca in tante aree scientifiche – è stato progressivamente defianziato e per diversi anni messo completamente a tacere.

La storia insegna che le grandi innovazioni sono frutto della ricerca guidata dalla curiosità, quella che ha come fine l'aumento delle conoscenze che, a loro volta, stimolano l'interesse di altri soggetti (l'industria farmaceutica per rimanere legati alla presente discussione). In Italia, la ricerca di base è pochissimo finanziata e, sorprendentemente, gli industriali – mentre chiedono – e giustamente – un miglior funzionamento della macchina statale, migliori servizi e migliori infrastrutture – non hanno mai chiesto al governo di potenziare la ricerca di base e tantomeno investono direttamente su di essa. Questa è una visione miope perché rimane solo lo Stato con scarse risorse, a finanziare la ricerca di base, nei laboratori delle Università e degli Enti di ricerca. Sostenere la ricerca di base, in tutte le aree, con progetti valutati sulla base esclusivamente della qualità e innovatività e del merito dei ricercatori, consentirebbe, non solo di ottenere nuove scoperte, ma anche di accrescere la capacità di attrazione del nostro paese, del nostro tessuto industriale e di preparare nuovi ricercatori. In tempi di ristrettezze economiche potrebbe sembrare un lusso finanziare un tipo di ricerca con risultati non prevedibili e con ricaduta non immediata.

Quest'approccio è sbagliato: il finanziamento della ricerca è non solo un investimento a lungo termine ma è anche indispensabile anche per mettere i nostri ricercatori in grado di competere con successo per ottenere finanziamenti europei.

#### 4. Quali i costi di malattie del sistema nervoso

A rendere ancora più impellente la ricerca sulle malattie del cervello, inclusa la malattia di Alzheimer, sono gli ingenti costi che essi impongono ai servizi sanitari nazionali e soprattutto, specie per alcune patologie neurodegenerative, alle famiglie. Ingenti costi che i singoli individui spesso non riescono a sopportare causando gravi sofferenze che talvolta esitano in tragedie familiari.

Nella Fig. 2 sono riportati i costi, in Europa, di diverse malattie del sistema nervoso centrale. Nel *plot* è messo in evidenza il numero di soggetti per patologia, il costo unitario e il costo complessivo.

È evidente che la demenza, sebbene con una prevalenza non altissima, sia la condizione neurologica che ha un costo tra i più alti.

Ma a rendere ancora più insopportabile l'attuale situazione è la distribuzione dei pesanti costi.

Nella Fig. 3, infatti si osserva come per la demenza i costi maggiori sono quelli non sanitari (per esempio costi per i badanti (*caregivers*) che assistono *full-time* i pazienti) che sono quasi esclusivamente a carico delle famiglie. Nella demenza i costi indiretti sono pressoché assenti giacché nella maggior parte dei casi ci si ammala a un'età prossima alla pensione per cui gli effetti dovuti alla perdita di ore di lavoro o sulla produttività sono piuttosto marginali.

Il dato riportato è estremamente preoccupante specie se si considera quanto recentemente riportato dall'Istat secondo cui nel 2016 la quota di italiani residenti a rischio di povertà è salita al 23%. Questo dato secondo Adnkronos rappresenta il massimo storico da quando la Banca d'Italia ha iniziato questo tipo di rilevazioni.

Questo può significare che una diagnosi di demenza rappresenti un dramma sia dal punto di vista affettivo ma anche una situazione che potrebbe essere non economicamente sostenibile per una famiglia.

#### 5. Considerazioni finali

I disturbi del cervello possono rappresentare una vera e propria bomba per l'economia europea per gli enormi costi sociali che essi impongono.

Affrontare correttamente e con spirito di innova-

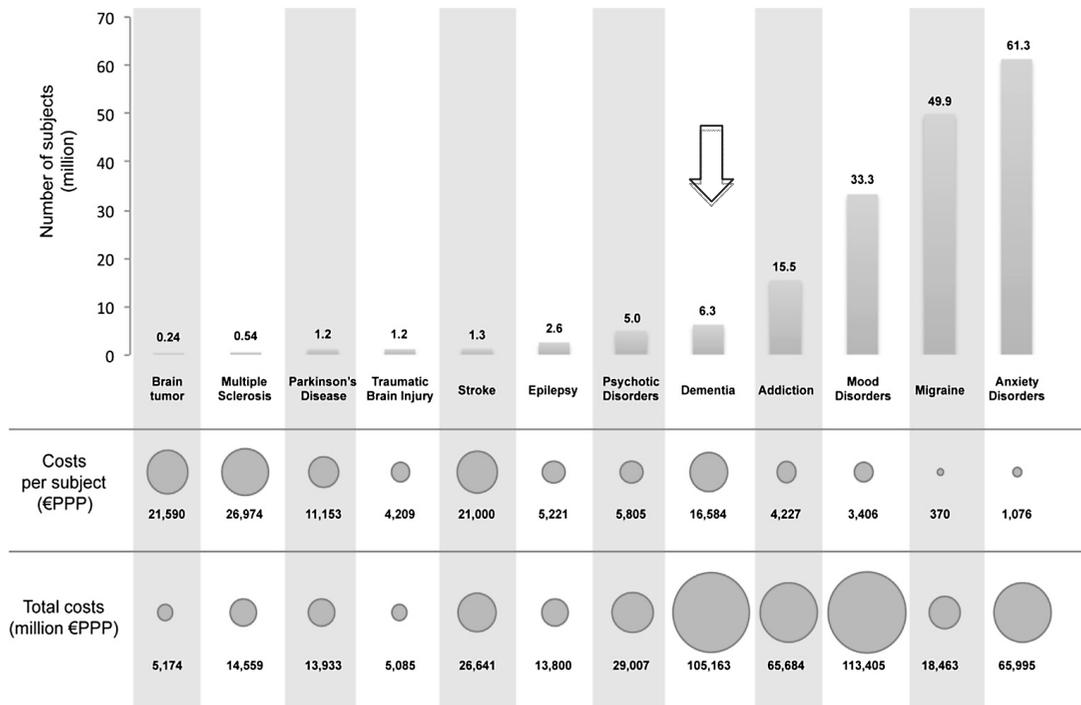


Fig. 2. Costi delle malattie del cervello in Europa, nel 2010 (M. Di Luca and Jes Olesen, The cost of brain diseases: a burden or a challenge? DOI: 0.1016/j.neuron.2014.05.044, [10]).

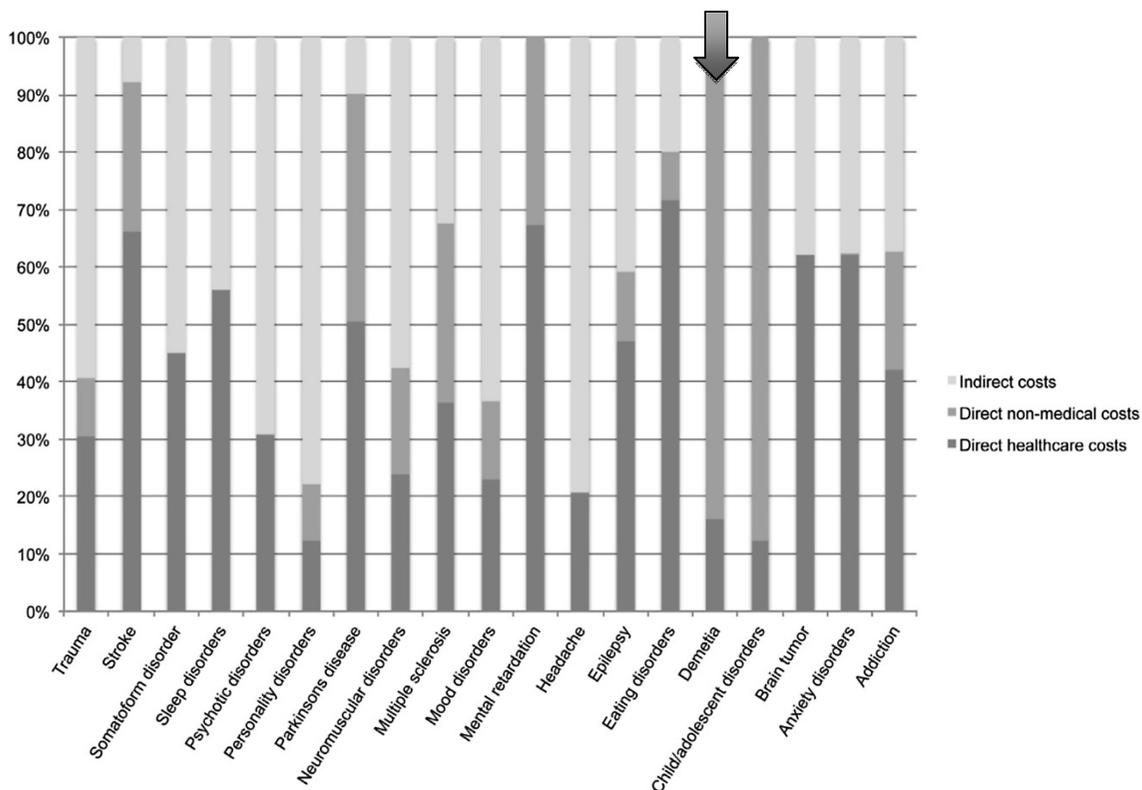


Fig. 3. Distribuzione dei costi delle malattie del cervello in Europa, nel 2010 (M. Di Luca and Jes Olesen, The cost of brain diseases: a burden or a challenge? DOI: 10.1016/j.neuron.2014.05.044, [10]).

zione questi grandi costi per la società richiede un'intensificazione della ricerca e nuove soluzioni. Per affrontare questa emergenza sociale, abbiamo bisogno di sviluppare una solida rete che si basi sulla ricerca di base e susseguentemente sulla ricerca clinica.

In questa situazione i singoli governi sono chiamati a riflettere ed a capire quali interventi adottare per limitare gli ingenti danni che la società potrebbe subire nei prossimi decenni se il problema non sarà correttamente affrontato.

#### RINGRAZIAMENTI

**M. D'Amelio** e **N.B. Mercuri** sono finanziati dal Ministero della Salute. **M. D'Amelio** è supportato da un grant erogato Alzheimer's Association.

#### Bibliografia

- [1] Alzheimer's Disease International (2016). *World Alzheimer Report 2016*, ADI, London.
- [2] Banerjee S. (2012). *The macroeconomics of dementia-will the world economy get Alzheimer's disease?*, Arch. Med. Res. 43, 705-709.
- [3] Cummings J.L., Morstorf T., Zhong K. (2014). *Alzheimer's disease drug-development pipeline: few candidates, frequent failures*, Alzheimers Res. Ther. 6, 37.
- [4] Doody R.S. et al. (2013). *A phase 3 trial of semagacestat for treatment of Alzheimer's disease*, N. Engl. J. Med. 369, 341-350.
- [5] Gauthier S. et al. (2016). *Why has therapy development for dementia failed in the last two decades?*, Alzheimers Dement. 12, 60-64.
- [6] Honig L.S. et al. (2018). *Trial of Solanezumab for Mild Dementia Due to Alzheimer's Disease*, N. Engl. J. Med. 378, 321-330.
- [7] The Lancet Neurology (2017). *Solanezumab: too late in mild Alzheimer's disease?*, Lancet Neurol. 16, 97.
- [8] Vandenberghe R. et al. (2016). *Bapineuzumab for mild to moderate Alzheimer's disease in two global, randomized, phase 3 trials*, Alzheimers Res. Ther. 8, 18.
- [9] Hawkes N. (2018). *Pfizer abandons research into Alzheimer's and Parkinson's diseases*, BMJ 360, k122.
- [10] Di Luca M., Olesen J. (2014). *The cost of brain diseases: a burden or a challenge?*, Neuron 82:1205-8.

#### MARCELLO D'AMELIO

Professor in Human Physiology Molecular Neuroscience Unit Medical School Campus Bio-Medico University  
Via Alvaro del Portillo, 21 I-00128 Rome, Italy  
Phone: +39-06-22541-9195 Fax: +39-06-2254-456  
E-mail: m.damelio@unicampus.it, marcello.damelio@gmail.com  
European Centre for Brain Research Santa Lucia Foundation  
Via del Fosso di Fiorano, 65 I-00143 Rome, Italy  
Phone+39-06-501703167

#### NICOLA BIAGIO MERCURI

Nicola Biagio Mercuri ha conseguito la laurea in Medicina e Chirurgia nel 1979 Dal 1996 è Direttore dei laboratori di Neurologia sperimentale presso l'IRCCS Fondazione Santa Lucia di Roma, integrato nel Centro Europeo di Ricerca sul Cervello (CERC). È membro del gruppo consultivo scientifico sul Sistema Nervoso Centrale (SAG-CNS) del gruppo European Medicines Agency (EMA) di Londra. Dal 2007 è Professore Ordinario di Neurologia e Direttore del Dipartimento di Neurofisiopatologia dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata".

#### Contatti:

m.damelio@unicampus.it

# REGIMI ESTREMI IN GRAVITÀ QUANTISTICA

Emmanuele Battista

## Riassunto

*Il presente articolo riassume brevemente il contenuto della mia tesi di dottorato, grazie alla quale ho avuto l'onore di risultare vincitore della IX edizione del premio "Vincenza Celluprica".*

*Vengono descritti i regimi di bassa e di alta energia della teoria quantistica della campo gravitazionale.*

*Nella prima parte, mediante l'approccio delle teorie efficaci della gravitazione, analizzo le correzioni quantistiche alle posizioni newtoniane dei punti lagrangiani del sistema Terra-Luna. La differenza rispetto ai valori classici è dell'ordine dei pochi millimetri, una discrepanza che potrebbe essere testata con l'ausilio delle moderne tecniche del laser ranging. Sul versante delle alte energie, viene studiata la curvatura di Riemann della geometria che si ottiene applicando la procedura del boost alla metrica di Schwarzschild-de Sitter. Lo spazio-tempo che ne risulta è caratterizzato da un lato dall'esistenza di una 3-sfera di singolarità e dall'altro dall'intervento di meccanismi anti-gravitazionali, innescati dalla presenza di un muro elastico che ho denominato boosted horizon.*

**Parole chiave:** *Gravità Quantistica, Punti lagrangiani, Curvatura di Riemann.*

## Abstract

*In this article I briefly summarize the content of my PhD thesis, thanks to which I have had the privilege to be awarded the ninth edition of "Vincenza Celluprica" prize.*

*I analyze both the low-energy limit and the high-energy domain of quantum gravity.*

*In the first part, by employing the effective field theory approach, I find quantum corrections in the position of Newtonian Lagrangian points of the Earth-Moon system of the order of few millimeters. These tiny effects may be tested with the help of the modern laser ranging techniques.*

*The second part deals with the high-energy domain of quantum gravity, where I investigate the Riemannian curvature of the boosted Schwarzschild-de Sitter space-time. It turns out that this peculiar geometry is characterized both by the presence of a singularity 3-sphere and by the appearance of some antigravity effects, which are due to the occurrence of an elastic wall which I have called boosted horizon.*

**Keywords:** *Quantum Gravity, Lagrangian Points, Riemann Curvature.*

## Introduzione

Lo scopo di questo articolo consiste nel fornire un breve riassunto della mia tesi di dottorato. L'elaborato è intitolato "*Extreme Regimes in Quantum Gravity*" ed è stato difeso presso l'Università "*Federico II*" di Napoli il 29 Aprile 2016. Tale lavoro rappresenta il frutto di tre anni di intense e stimolanti ricerche culminate con la vittoria del premio indetto dall'ANPRI e intitolato alla memoria della dottoressa Vincenza Celluprica, il quale mi è stato conferito il 22 Maggio 2018 a Roma, presso la sede centrale del CNR.

La motivazione principale che ha ispirato la scelta del titolo del manoscritto è dovuta al fatto che in esso vengono affrontati i due regimi estremi della teoria quantistica della gravitazione, ovvero quelli inerenti i limiti di basse ed alte energie.

La necessità di formulare una corretta teoria quantistica del campo gravitazionale nasce dalla diffusa e ben nota consapevolezza da parte della comunità scientifica che le quattro interazioni fondamentali della natura (l'interazione elettromagnetica, l'inte-

razione nucleare debole, l'interazione nucleare forte ed appunto l'interazione gravitazionale) debbano necessariamente essere descritte a livello fondamentale invocando i principi della meccanica quantistica. Al contrario, la Relatività Generale di Einstein, nonostante rappresenti uno dei più affascinanti e intriganti modelli di campo gravitazionale della fisica teorica, è caratterizzata dal grosso "*limite*" di essere una teoria puramente classica. Ciò significa che essa fornisce eccellenti descrizioni (approssimate) dei processi fisici che avvengono a livello macroscopico, mentre su scale atomiche e sub-atomiche si configura come un modello totalmente inadeguato.

A titolo di esempio, si consideri il fenomeno della precessione del perielio dell'orbita di Mercurio, per il quale la teoria di Einstein prevede un *rate* di precessione pari ad 43 secondi d'arco ogni 100 anni, un valore meravigliosamente in accordo con le osservazioni astronomiche. D'altro canto, la Relatività Generale prevede la presenza di singolarità nella struttura dello spazio-tempo ogniqualvolta si è interessati allo studio dei meccanismi che regolano

il collasso gravitazionale e, più in generale, in ambito cosmologico, sbarrando in questo modo la strada verso una completa comprensione dello stato iniziale del nostro Universo.

Un altro importante motivo che spinge la comunità scientifica verso la ricerca di un corretto modello quantistico del campo gravitazionale va ricercato nell'ambito della fisica delle particelle elementari. In questo contesto infatti è ben noto il principio secondo cui la vera teoria fondamentale in grado di descrivere la natura in ogni suo aspetto debba prevedere una “grande unificazione” delle quattro interazioni fondamentali, circostanza che richiede inevitabilmente che i processi gravitazionali vadano compresi in chiave quantistica.

È dunque chiaro che uno degli straordinari problemi aperti che “affligge” la fisica teorica consiste nel ricercare la teoria che descriva correttamente le caratteristiche del campo gravitazionale in regime quantistico. Ad oggi infatti un siffatto modello (nella sua forma definitiva) che sia accettato dall'intera comunità scientifica non esiste. Al contrario, due teorie, denominate gravità quantistica a *loop* e teoria delle stringhe, si contendono lo scettro di teoria della *quantum gravity*.

Nonostante l'assenza di una teoria della *quantum gravity* universalmente riconosciuta, risulta comunque possibile descrivere correttamente alcuni aspetti quantistici del campo gravitazionale, purché si adotti un approccio che permette di separare gli eventi quantistici che avvengono alle scale di alte energie (o equivalentemente alle scale microscopiche) da quelli che caratterizzano il regime di basse energie (o analogamente le grandi scale di distanza). Tale approccio rappresenta il principio fondamentale su cui si basano le teorie efficaci del campo gravitazionale (*effective field theories*). Una *effective field theory* permette di analizzare correttamente una determinata classe di fenomeni quantistici che coinvolgono il campo gravitazionale, a patto che ci si limiti ad una descrizione che implichi soltanto le scale di basse energie. Tutte le previsioni ottenute mediante tale schema rappresentano una necessaria conseguenza dell'ancora sconosciuta teoria della *quantum gravity*.

Nella prima parte della mia tesi di dottorato, ovvero quella inerente il limite delle basse energie della teoria quantistica della gravitazione, ho applicato il modello delle *effective field theories* allo studio delle correzioni quantistiche della posizione dei punti lagrangiani del sistema Terra-Luna. Lo scostamento dai corrispondenti valori classici (ovvero quelli attesi dalla teoria di Newton) risulta essere dell'ordine dei pochi millimetri, ovvero un ordine di grandezza sorprendentemente elevato se confrontato con le tipiche

predizioni teoriche fornite dalla gravità quantistica a *loop* o dalla teoria delle stringhe, le quali prevedono generalmente effetti la cui osservazione va ben al di là delle possibilità delle nostre moderne tecnologie. Al contrario, il modello proposto nella prima parte della mia tesi di dottorato possiede una *chance* di essere testato con l'ausilio delle recenti tecniche del *satellite/lunar laser ranging*.

Come annunciato in precedenza, la seconda parte della tesi riguarda lo studio del limite di alte energie della *quantum gravity*. Viene infatti descritto il campo gravitazionale prodotto da una particella avente massa a riposo nulla ed in moto con una velocità pari a quella della luce nel vuoto ( $c = 2.99792\,458 \times 10^8$  m/s). Questa peculiare configurazione geometrica comporta la produzione di un'onda gravitazionale di *shock*, ovvero un'onda avente un forte profilo impulsivo. Il metodo formale che consente di descrivere un siffatto spazio-tempo è noto in letteratura come *boost* di una metrica<sup>1</sup> spazio-temporale. Il *boost* è rappresentato da una particolare trasformazione di coordinate che consente di visualizzare la forma che assume la metrica dal punto di vista di un osservatore in moto rispetto ad un osservatore statico.

Nella mia tesi ho analizzato le caratteristiche dello spazio-tempo che si ottiene dopo aver applicato il *boost* alla metrica di Schwarzschild-de Sitter, una peculiare soluzione delle equazioni di Einstein che descrive un buco nero generalizzato. L'analisi della curvatura di Riemann di questa geometria ha evidenziato la presenza di una sorta di muro elastico, che ho denominato *boosted horizon*, dove una generica particella dotata di massa viene vista rimbalzare. Tale fenomeno suggerisce dunque la presenza di meccanismi anti-gravitazionali attorno al *boosted horizon*. Inoltre il mio studio ha anche portato alla luce la presenza di una 3-sfera, che circonda il *boosted horizon*, dove la curvatura dello spazio-tempo diventa infinita. Tale 3-sfera si configura dunque come una singolarità di questa particolare geometria che si ottiene dopo aver applicato il *boost* allo spazio-tempo di Schwarzschild-de Sitter (e che chiameremo spazio-tempo *boosted* di Schwarzschild-de Sitter).

### **Limite delle basse energie della quantum gravity: il sistema terra-luna**

Nell'ambito delle *effective field theories* è possibile valutare le correzioni quantistiche dominanti al potenziale newtoniano. Con il termine “*dominante*” mi riferisco a quei termini che giocano un ruolo prioritario alle basse scale di energia.

Ricordiamo che il potenziale newtoniano classico

per il sistema composto da due corpi celesti aventi masse  $m_A$  e  $m_B$  è rappresentato da:

$$V_N(r) = -\frac{Gm_A m_B}{r},$$

dove  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$  indica la costante di gravitazione universale, mentre  $r$  la distanza tra le masse  $m_A$  e  $m_B$ . Il potenziale quantistico invece è dato da (fino all'ordine  $G^3$ )

$$V_Q(r) = -\frac{Gm_A m_B}{r} \left[ 1 + \left( \frac{k_1}{r} + \frac{k_2}{r^2} \right) + O(G^2) \right],$$

dove

$$k_1 \equiv \kappa_1 \frac{G(m_A + m_B)}{c^2}, \quad (1.1)$$

$$k_2 \equiv \kappa_2 \frac{G\hbar}{c^3} = \kappa_2 (l_p)^2, \quad (1.2)$$

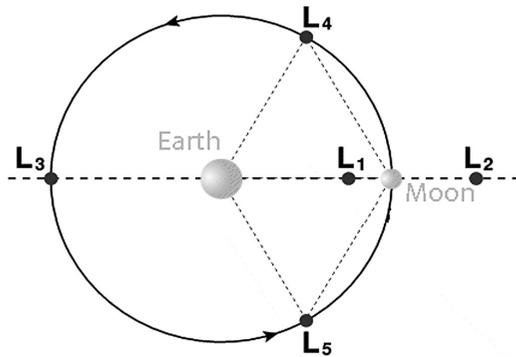


Fig. 1. Rappresentazione pittorica della posizione, così come prevista dalla teoria di Newton, dei punti lagrangiani nel sistema Terra-Luna.

mentre  $\kappa_1$  e  $\kappa_2$  rappresentano dei coefficienti numerici di cui esporrò i dettagli a breve. Le grandezze (1.1) e (1.2) rappresentano dunque le correzioni dominanti al potenziale classico  $V_N(r)$ . In particolare, l'equazione (1.1) è detta correzione post-newtoniana (per il suo essere proporzionale ad  $1/c^2$ ), mentre la (1.2) esprime il vero effetto quantistico, essendo dipendente dal quadrato della lunghezza di Planck, il cui valore è fornito da:

$$l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1.616252 \times 10^{-35} \text{ m}.$$

Tale grandezza fisica fissa infatti la scala di lunghezza alla quale il modello classico di Einstein del campo gravitazionale diventa inadatto. Le costanti numeriche che appaiono nelle (1.1) e (1.2) sono riportate nella seguente tabella (Tab. 1).

Risulta dunque evidente che esistono tre differenti *set* di valori che possono essere assunti da  $\kappa_1$  e  $\kappa_2$ .

$\kappa_i$	one-particle reducible	scattering	bound-states
$\kappa_1$	-1	3	$-\frac{1}{2}$
$\kappa_2$	$-\frac{167}{30\pi}$	$\frac{41}{10\pi}$	$\frac{41}{10\pi}$

Tab. 1. Valori delle costanti numeriche che appaiono nelle equazioni (1.1) e (1.2) per i tre tipi di potenziale.

Questa circostanza è dovuta al fatto che in regime quantistico non esiste una definizione univoca di potenziale e dunque, a seconda dello schema adottato, si possono ottenere *output* diversi per  $\kappa_1$  e  $\kappa_2$ , che conducono a loro volta a tre diversi tipi di potenziale, denominati in letteratura *one-particle reducible potential*, *scattering potential* ed *bound-states potential*.

Utilizzando la forma del potenziale  $V_Q(r)$ , ho studiato le correzioni quantistiche alla posizione dei punti lagrangiani nell'ambito del problema ristretto a tre corpi che coinvolge la Terra, la Luna ed un piccolo planetoido. Il problema ristretto a tre corpi fu analizzato per la prima volta da Jules Henri Poincaré (illustre matematico e fisico teorico francese) intorno al 1889. Tale configurazione è caratterizzata dalla presenza di tre masse soggette unicamente alla loro mutua interazione gravitazionale e prevede di ricavare la loro posizione ad ogni istante di tempo successivo ad un istante iniziale  $t_0$ , una volta che le posizioni e le velocità dei corpi sono state assegnate al tempo iniziale  $t = t_0$ . In particolare, e ciò spiega il motivo della presenza dell'aggettivo "ristretto", i tre corpi celesti  $A$ ,  $B$ , e  $C$  sono tali che  $A$  e  $B$  (detti primari) hanno una massa notevolmente superiore rispetto a quella del terzo corpo  $C$ , denominato per tal motivo planetoido. Inoltre, i primari  $A$  e  $B$  sono tali che  $m_A \gg m_B$ . Dunque il problema ristretto a tre corpi rappresenta un modello semplificato rispetto al più generale (ed analiticamente privo di soluzione) problema a tre corpi completo, dato che nel primo sistema si suppone che il planetoido sia in moto nel campo gravitazionale noto ed imperturbabile dei due primari, ipotesi non applicabile invece nel secondo caso, dove le masse possono assumere valori del tutto generali. Per il problema ristretto a tre corpi la teoria di Newton prevede la presenza di cinque posizioni in cui il planetoido, sottoposto all'influenza gravitazionale dei primari, si trova in condizioni di equilibrio. Tali punti sono denominati punti lagrangiani  $L_1, L_2, L_3, L_4$  e  $L_5$ , in onore del famoso matematico italiano Joseph-Louis Lagrange (vedi Fig. 1). In particolare, i punti  $L_1, L_2$  e  $L_3$  giacciono sulla retta che congiunge i primari e sono perciò

denominati punti collineari. D'altro canto, i punti  $L_4$  e  $L_5$  definiscono con i primari due triangoli equilateri e per tal motivo sono indicati come punti triangolari (o non collineari). I punti collinari rappresentano posizioni di equilibrio instabile, mentre quelli triangolari corrispondono a punti di equilibrio stabile.

Nella mia tesi di dottorato ho analizzato, in regime quantistico, le caratteristiche del problema ristretto a tre corpi in cui il ruolo dei primari  $A$  e  $B$  è svolto rispettivamente dalla Terra ( $m_A \equiv m_T = 5.972 \times 10^{24} \text{ Kg}$ ) e dalla Luna ( $m_B \equiv m_L = 7.348 \times 10^{22} \text{ Kg}$ ), mentre quello del planetoido può essere assunto da un satellite artificiale. In primo luogo, ho mostrato che la *picture* classica in cui  $L_4$  e  $L_5$  definiscono, insieme ai primari, i vertici di due triangoli rettangoli, viene

$L_i$	One-particle reducible	Scattering	Bound-states
$L_4$	$r_Q - r_{cl} = -2.96 \text{ mm}$	$r_Q - r_{cl} = 8.87 \text{ mm}$	$r_Q - r_{cl} = -1.48 \text{ mm}$
	$x_Q - x_{cl} = -2.92 \text{ mm}$	$x_Q - x_{cl} = 8.76 \text{ mm}$	$x_Q - x_{cl} = -1.46 \text{ mm}$
	$y_Q - y_{cl} = -1.73 \text{ mm}$	$y_Q - y_{cl} = 5.18 \text{ mm}$	$y_Q - y_{cl} = -0.864 \text{ mm}$
$L_5$	$r_Q - r_{cl} = -2.96 \text{ mm}$	$r_Q - r_{cl} = 8.87 \text{ mm}$	$r_Q - r_{cl} = -1.48 \text{ mm}$
	$x_Q - x_{cl} = -2.92 \text{ mm}$	$x_Q - x_{cl} = 8.76 \text{ mm}$	$x_Q - x_{cl} = -1.46 \text{ mm}$
	$y_Q - y_{cl} = 1.73 \text{ mm}$	$y_Q - y_{cl} = -5.18 \text{ mm}$	$y_Q - y_{cl} = 0.864 \text{ mm}$

Tab. 2. Correzioni quantistiche alla posizione newtoniana dei punti lagrangiani non collineari del sistema Terra-Luna per i tre diversi tipi di potenziale. Le coordinate  $(x_{cl}, y_{cl})$  e  $(x_Q, y_Q)$  si riferiscono rispettivamente all'ascissa e all'ordinata classica e quantistica di  $L_i$  in un sistema di riferimento cartesiano con origine nel centro di massa del sistema Terra-Luna. Le distanze indicate con  $r_{cl}$  e  $r_Q$  si riferiscono rispettivamente alle distanze classiche e quantistiche di  $L_i$  dalla Terra.

$L_i$	One-particle reducible	Scattering	Bound-states
$L_1$	$r_Q - r_{cl} = -1.23 \text{ mm}$	$r_Q - r_{cl} = 3.70 \text{ mm}$	$r_Q - r_{cl} = -0.617 \text{ mm}$
	$x_Q - x_{cl} = -1.23 \text{ mm}$	$x_Q - x_{cl} = 3.70 \text{ mm}$	$x_Q - x_{cl} = -0.617 \text{ mm}$
$L_2$	$r_Q - r_{cl} = -0.783 \text{ mm}$	$r_Q - r_{cl} = 2.35 \text{ mm}$	$r_Q - r_{cl} = -0.392 \text{ mm}$
	$x_Q - x_{cl} = -0.783 \text{ mm}$	$x_Q - x_{cl} = 2.35 \text{ mm}$	$x_Q - x_{cl} = -0.392 \text{ mm}$
$L_3$	$r_Q - r_{cl} = -2.96 \text{ mm}$	$r_Q - r_{cl} = 8.89 \text{ mm}$	$r_Q - r_{cl} = -1.48 \text{ mm}$
	$x_Q - x_{cl} = 2.96 \text{ mm}$	$x_Q - x_{cl} = -8.89 \text{ mm}$	$x_Q - x_{cl} = 1.48 \text{ mm}$

Tab. 3. Correzioni quantistiche alla posizione newtoniana dei punti lagrangiani collineari del sistema Terra-Luna per i tre diversi tipi di potenziale. Le coordinate  $x_{cl}$  e  $x_Q$  si riferiscono rispettivamente all'ascissa classica e quantistica di  $L_i$  in un sistema di riferimento cartesiano con origine nel centro di massa del sistema Terra-Luna. Le distanze indicate con  $r_{cl}$  e  $r_Q$  si riferiscono rispettivamente alle distanze classiche e quantistiche di  $L_i$  dalla Terra.

completamente distrutta in regime quantistico. Infatti, il modello analizzato prevede correzioni sulla posizione newtoniana di  $L_4$  e  $L_5$  di pochi millimetri, come si evince dalla Tab. 2.

Per quanto riguarda i punti lagrangiani collineari, le correzioni quantistiche sui corrispondenti valori classici si attestano nuovamente intorno all'ordine dei pochi millimetri, come mostrato in Tab. 3.

La grande innovazione introdotta da questo tipo di approccio alla *quantum gravity* consiste nel fatto che esso conduce, in un sistema "familiare" ed "accessibile" come quello Terra-Luna, a predizioni quantistiche che hanno la possibilità di essere testate con l'ausilio delle moderne tecnologie, a differenza di ciò che accade, ad esempio, nel caso della gravitazione quantistica a *loop* ed della teoria delle stringhe, le quali conducono a previsioni che, allo stato attuale, non sono verificabili sperimentalmente. Le correzioni riportate nelle Tab. 2 ed 3 hanno infatti la possibilità di essere misurate sfruttando le innovative tecniche del *satellite/lunar laser ranging* (Fig. 2). Tale metodo consiste nell'indirizzare un fascio laser verso un satellite artificiale (che gioca il ruolo di planetoido) preventivamente inviato in orbita in una zona di interesse.

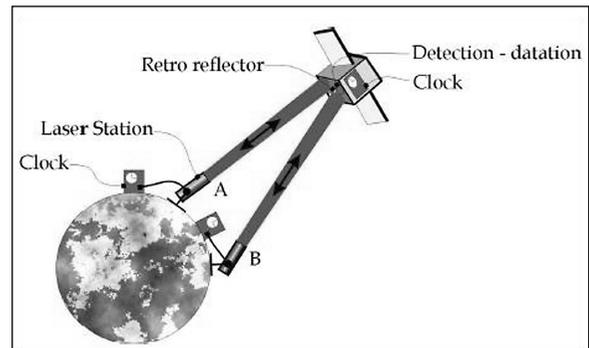


Fig. 2. Schema del set-up del satellite/lunar laser ranging.

Il satellite è munito di specchi retro-riflettenti atti a consentire la riflessione del raggio laser così che, misurando l'intervallo di tempo che esso impiega a ritornare sul punto della Terra da cui è stato lanciato, e nota la sua velocità (pari, con buona approssimazione, a  $c$ ), si possono effettuare misure di distanza molto precise.

L'effettiva possibilità di poter testare le previsioni di questo modello rappresenta una sfida essenziale al fine di stabilire la sua reale validità.

### Limite delle alte energie della quantum gravity: lo spazio-tempo *boosted* di Schwarzschild-De Sitter

La procedura del *boost* è utilizzata in fisica teorica per mappare soluzioni esatte delle equazioni di

Einstein in una classe di geometrie spazio-temporali caratterizzate dalla presenza di onde gravitazionali di *shock*, ovvero onde che coinvolgono scale di energie notevolmente elevate. Nonostante questo *modus operandi* rappresenti una tecnica puramente classica, esso comporta notevoli implicazioni a livello quantistico. Infatti tale metodo consente, ad esempio, di descrivere alcuni aspetti dell'effetto Hawking (ovvero della radiazione emessa da un buco nero) e di analizzare la radiazione emessa nell'incontro tra due buchi neri, uno spettacolare evento astronomico tornato di recente alla ribalta per l'aver rappresentato la sorgente delle onde gravitazionali osservate, per la prima volta nella storia in maniera diretta, il 14 Settembre 2015 negli Stati Uniti, presso l'osservatorio denominato LIGO, acronimo di *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*.

Il *boost* di una metrica spatio-temporale è una trasformazione di coordinate che consente di esprimere la metrica dal punto di vista di un osservatore in moto con velocità  $v$  rispetto ad un osservatore statico. Se si fa tendere, in maniera opportuna, la velocità  $v$  al valore assunto dalla velocità della luce nel vuoto  $c$ , la metrica così ottenuta corrisponde al campo gravitazionale generato da una particella avente massa a riposo nulla e in moto con velocità pari a quella della luce. Tale geometria è caratterizzata dalla presenza di onde gravitazionali di *shock*, che viaggiano e si propagano insieme alla particella.

Nella mia tesi ho applicato questo formalismo alla metrica di Schwarzschild-de Sitter e ho successivamente studiato le peculiarità della curvatura (di Riemann) dello spazio-tempo *boosted* di Schwarzschild-de Sitter.

La curvatura è un concetto geometrico che indica quanto la geometria in esame differisce da quella del mondo piatto, ovvero la geometria di Euclide se ci riferiamo ad un mondo in tre dimensioni o la geometria di Minkowski se consideriamo quattro dimensioni. In Relatività Generale la curvatura dello spazio-tempo (che rappresenta un ambiente quadridimensionale) è descritta in termini del tensore<sup>2</sup> di Riemann.

Tra le tante applicazioni che trova nella teoria di Einstein questo indispensabile oggetto, vale la pena citare la sua connessione con il V postulato di Euclide. Il tensore di Riemann infatti permette di ottenere una misura di quanto due rette, inizialmente parallele, falliscono poi nel mantenersi parallele durante il loro propagarsi all'interno di un campo gravitazionale.

Al fine di studiare la curvatura dello spazio-tempo *boosted* di Schwarzschild-de Sitter, ho analizzato il comportamento di un importante invariante di curvatura, denominato scalare di Kretschmann e definibile

come il quadrato del tensore di Riemann. Il grosso vantaggio di questa grandezza scalare consiste nel fatto che essa assume lo stesso valore in ogni sistema di riferimento e dunque specifica in maniera univoca le caratteristiche della geometria in esame. Per comprendere al meglio questo concetto, si consideri il nome proprio di una persona: questa informazione rappresenta un marchio indelebile per un soggetto che non cambia la propria essenza in nessun luogo o nazione della Terra. Lo scalare di Kretschmann rappresenta una sorta di nome proprio dello spazio-tempo *boosted* di Schwarzschild-de Sitter. L'analisi di tale invariante ha portato alla luce la presenza di una 3-sfera<sup>3</sup> di singolarità dove la curvatura dello spazio-tempo raggiunge valori infiniti. Se indichiamo con  $(i = 1, 2, 3, 4)$  le coordinate dello spazio-tempo *boosted* di Schwarzschild-de Sitter, l'equazione della 3-sfera di singolarità assume la forma

$$(Y_1)^2 + (Y_2)^2 + (Y_3)^2 + (Y_4)^2 = a^2$$

dove  $a$  rappresenta il raggio. Per poter visualizzare il comportamento dell'invariante di Kretschmann, abbiamo prodotto, limitatamente al piano  $Y_1$ - $Y_2$ , un *countour plot*, ovvero un grafico dove le differenti tonalità di colore indicano i diversi valori assunti dallo scalare di Kretschmann (Fig. 3).

Inoltre, lo studio delle traiettorie assunte dalle particelle massive che si propagano all'interno dello spazio-tempo *boosted* di Schwarzschild-de Sitter ha evidenziato la presenza di un muro elastico, che circonda la 3-sfera di singolarità, che ho denominato *boosted horizon*, dove hanno origine una serie di interessanti effetti anti-gravitazionali. Infatti tutte le particelle che incontrano nel loro tragitto tale barriera rimbalzano

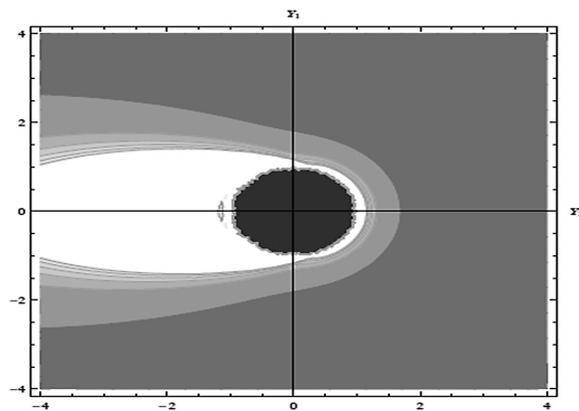


Fig. 3. *Countour plot* dello scalare di Kretschmann nel piano  $Y_1$ - $Y_2$ . Il cerchio al centro della figura rappresenta ciò che diviene la 3-sfera di singolarità dopo aver posto uguale a zero le variabili  $Y_3$  e  $Y_4$ .

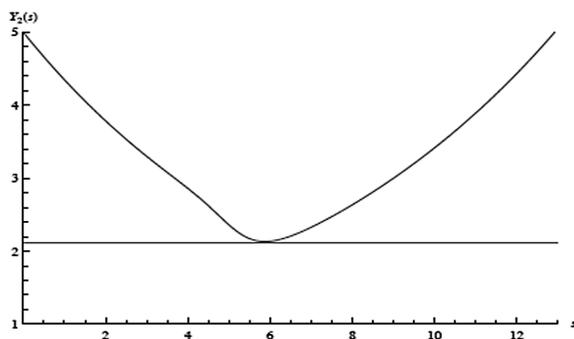


Fig. 4. Grafico della funzione  $Y_2 = Y_2(s)$  (con  $s$  parametro reale) che descrive la traiettoria di una particella massiva in moto verso il *boosted horizon*, rappresentato dalla retta orizzontale.

per poi ritornare nel punto da cui erano partite, come mostrato in Fig. 4.

Il *boosted horizon* e la 3-sfera di singolarità rappresentano due intriganti aspetti che caratterizzano la curvatura di Riemann della geometria *boosted* di Schwarzschild-de Sitter.

## Conclusioni

In questo articolo ho brevemente riassunto gli argomenti affrontati nella mia tesi di dottorato, elaborato grazie al quale sono risultato vincitore della IX edizione del premio “*Vincenza Celluprica*”.

Nella prima parte ho analizzato il limite di basse energie della *quantum gravity* mediante l’approccio delle *effective field theories*. È stato mostrato come tale modello fornisca correzioni quantistiche alle posizioni classiche dei punti lagrangiani del sistema Terra-Luna dell’ordine dei pochi millimetri (Tab. 2 e 3), aprendo la strada alla possibilità di effettuare test di verifica sperimentali mediante le innovative tecniche del *satellite/lunar laser ranging*. Questa circostanza rappresenterebbe una svolta rivoluzionaria nell’ambito delle teorie quantistiche della gravitazione, le quali si sono rivelate incapaci, ad oggi, di fornire predizioni teoriche effettivamente confermabili empiricamente.

Un progetto così ambizioso richiede, in primis, lo studio teorico di tutte le fonti di perturbazione del sistema Terra-Luna, come ad esempio l’influenza gravitazionale esercitata dal Sole e da Giove. Una siffatta

analisi è stata condotta nell’ambito del progetto scientifico denominato *NEWREFLECTIONS*.

Nella seconda parte ho affrontato il regime di alte energie della *quantum gravity*, introducendo il concetto di *boost* di una metrica, ovvero un metodo che consente di analizzare particolari geometrie spazio-temporali che coinvolgono la presenza di onde gravitazionali di *shock*. Tale tecnica è stata in seguito applicata alla soluzione delle equazioni di Einstein nota come metrica di Schwarzschild-de Sitter e la risultante geometria, denominata spazio-tempo *boosted* di Schwarzschild-de Sitter, è risultata essere caratterizzata da fenomeni anti-gravitazionali, come dimostra la presenza del *boosted horizon*, una sorta di muro elastico che avvolge la 3-sfera di singolarità in cui la curvatura di Riemann non è definita.

## Bibliografia

Battista E. (2017). *Extreme Regimes in Quantum Gravity*, Nova Science Publishers, Hauppauge, New York. ISBN 978-1-53612-336-4.

## Note

<sup>1</sup> La metrica dello spazio-tempo rappresenta lo strumento grazie al quale possiamo valutare la distanza spazio-temporale tra due qualsiasi punti (detti eventi). Tale entità può essere visualizzata come una sorta di righello, munito di un orologio, che consente di calcolare la distanza spaziale e temporale tra due punti dello spazio-tempo.

<sup>2</sup> Si definisce tensore una applicazione multilineare che associa ad un certo numero di vettori e covettori un quantità scalare. Si tratta in pratica di una generalizzazione dell’elementare concetto di funzione, introdotto tipicamente nei corsi di Analisi.

<sup>3</sup> Una 3-sfera è la generalizzazione a quattro dimensioni della usuale sfera tridimensionale (detta anche 2-sfera).

## EMMANUELE BATTISTA

*Emmanuele Battista ha conseguito il titolo di dottore di Ricerca presso l’Università “Federico II” di Napoli il 29 Aprile 2016. Successivamente è divenuto titolare di un assegno di ricerca presso la sezione di Napoli dell’INFN. Attualmente collabora con alcuni ricercatori dell’International Space Science Institute (ISSI), sita a Berna (Svizzera). È autore di 11 pubblicazioni su riviste con referees ed di un libro intitolato “Extreme Regimes in Quantum Gravity”, che rappresenta una versione estesa della sua tesi di dottorato.*

**Contatti:** [emmanuelebattista@gmail.com](mailto:emmanuelebattista@gmail.com)