

ATTIVITA' DI RICERCA

Giovanni Dimauro

1.1. Attività di ricerca dal 2011 a oggi

Sistemi di Supporto alla Diagnostica Strumentale

La costante evoluzione del comparto ICT nell'ultimo decennio sta generando mutamenti che intervengono sulla progettazione, sulla ricerca e sviluppo e sulla produzione, che tengono conto delle nuove opportunità offerte da tematiche quali AI, big-data, data analytics, digitalizzazione, cloud computing, con conseguenze rilevanti sulla nuova rivoluzione industriale cui ci si riferisce col termine Industria 4.0. Anche in sanità, l'informatica medica si rinnova in chiave 4.0, diventando protagonista dell'aumento dell'efficienza e dell'efficacia del lavoro quotidiano degli operatori sanitari a favore del paziente, sia nei luoghi di cura che nell'assistenza domiciliare, la prevenzione, la conservazione della salute e la riabilitazione.

Lo spazio aperto alle nuove ricerche è ampio e queste hanno già prodotto risultati significativi nei sistemi di supporto alle diagnosi, nei sistemi per la gestione del care flow degli assistiti, le interfacce uomo-macchina, la telemedicina ed i dispositivi IoT e IoMT personalizzati o indossabili per il monitoraggio dei pazienti cronici e la riabilitazione domiciliare, anche con particolare riferimento alle tecnologie e alle applicazioni orientate all'human centered artificial intelligence.

Pertanto, con l'obiettivo di perseguire l'attività di ricerca in un campo esteso, **Giovanni Dimauro ha interagito strettamente con ricercatori esperti** operanti in strutture o centri di ricerca autorevoli tra i quali l'IRCCS per i Tumori "Giovanni Paolo II", Ospedale Policlinico San Martino di Genova, l'UO Medicina Trasfusionale dell'Azienda Ospedaliero – Universitaria Policlinico di Bari, il Dipartimento di Medicina Clinica e Sperimentale dell'Università di Foggia, l'Istituto di Sistemi e Tecnologie Industriali Intelligenti per il Manifatturiero Avanzato del CNR oltre ad associazioni radicate nel territorio quali l'Associazione Parkinson Puglia. Ha quindi potuto beneficiare della semplice comunicazione di idee ma anche della integrazione reciproca di concetti organizzatori, metodologie, procedure proprie di ricercatori formati in differenti campi del sapere, fondamentali nella costruzione delle ipotesi di ricerca e nello sviluppo della ricerca stessa. Tanto è dimostrato da numerosi studi condotti da più autori di discipline diverse, pubblicati su riviste internazionali. In questi anni Giovanni Dimauro ha quindi posto le basi per lo sviluppo di algoritmi e sistemi di notevole interesse nell'ambito e-health, mirare al software come prezioso strumento di supporto, da affiancare all'insostituibile figura dello specialista.

Algoritmi e tecnologie per la stima dell'anemia

Uno degli obiettivi perseguiti dalla ricerca di Giovanni Dimauro è di determinare caratteristiche discriminanti, opportunamente studiate e individuate anche attraverso la progettazione di modelli di machine learning, di tessuti esposti del corpo umano ai fini della diagnosi precoce e del monitoraggio dell'anemia, un problema di salute pubblica che colpisce più di un miliardo di persone nel mondo, secondo le stime dell'OMS.

Si è quindi valutata la possibilità di stimare il livello di emoglobina, a fini diagnostici e di monitoraggio dei pazienti, utilizzando un'immagine digitale della congiuntiva palpebrale, al fine di evitare inutili trasfusioni di sangue o prelievo di sangue per rilevare l'attuale grado di anemia.

Insieme ad altri ricercatori di chiara fama ha dimostrato che l'osservazione della congiuntiva palpebrale, effettuata con appositi strumenti brevettati da lui stesso e analizzata con modelli di AI da lui progettati, è

determinante per diagnosticare l'anemia severa. Diversi studi riportano una precisione elevata di discriminazione (anche superiore al 95%) tra i pazienti anemici e non anemici sulla base della valutazione di pallore congiuntivale. Come detto, l'approccio richiede un dispositivo a basso costo o di uso diffuso utilizzato per catturare e analizzare l'immagine della congiuntiva che Giovanni Dimauro ha progettato e sperimentato e per il quale ha già conseguito 2 brevetti italiani, dei quali l'ultimo è anche alla fase di revisione internazionale. Questa ricerca, approfondita da Giovanni Dimauro negli ultimi anni, gli ha conferito una posizione di leadership scientifica in campo internazionale, come dimostrato dalle collaborazioni con centri di ricerca di paesi in cui questa patologia è particolarmente sentita (es. India, Ghana). L'importanza della ricerca è testimoniata anche da lavori recentemente pubblicati su journal come *Artificial Intelligence in Medicine*, nel quale ha proposto un protocollo comune di sperimentazione, ponendo a disposizione della comunità scientifica un dataset di immagini pubblico (*Eyes-defy-anemia*), primo e unico nel mondo, realizzato in parte in Italia e in parte in India. Nella stessa pubblicazione contribuisce ad alcune sfide aperte presentando un nuovo approccio basato sull'apprendimento automatico non invasivo ed economico per aiutare nel rilevamento automatico dell'anemia.

Complessivamente, gli articoli pubblicati da Giovanni Dimauro su questa tematica sono stati citati **oltre 250 volte** su Scopus e tra questi, quello intitolato '*A new method and a non-invasive device to estimate anaemia based on digital images of the conjunctiva*' è stato valutato '**Eccellente ed Estremamente Rilevante**' nella VQR 2015-19.

Dal 2018 collabora attivamente con l'Electronics and Communication Engineering Department, KCG College of Technology, India, con il gruppo di ricerca coordinato dalla prof. Vijayan Thulasi Bai (<https://kcgcollege.ac.in/departments/ece/#10>). Nell'ambito di questa collaborazione, che prevede anche la sperimentazione congiunta del device per la stima dell'anemia brevettato da Giovanni Dimauro, è stato co-supervisore di tre studenti PhD di Università in India impegnati su progetti di applicazione di tecniche di intelligenza artificiale nella diagnostica medica. Su questa linea di ricerca collabora attivamente anche con il Department of Computer Science and Informatics, University of Energy and Natural Resources, Ghana..

Ad oggi è in corso un ulteriore studio presso l'IRCSS Giovanni Paolo II, autorizzato dal Comitato Etico (Prot. n. 1137/CE), al fine di validare l'applicabilità delle tecnologie progettate ai **pazienti oncologici**.

Algoritmi e tecnologie per lo studio di patologie in ambito citologico e Human-Centered Artificial Intelligence

La Rinologia studia l'anatomia, la fisiologia e le affezioni che colpiscono la regione nasale: una delle tecniche più moderne per diagnosticare queste affezioni è la citologia nasale o rinocitologia, che prevede l'analisi al microscopio delle cellule contenute nella mucosa nasale.

Giovanni Dimauro negli ultimi anni ha approfondito la problematica e già nel 2019 pubblicava insieme ad altri colleghi uno studio sull'International Journal of Medical Informatics, molto citato in letteratura (valutato '**Eccellente**' nella VQR 2015-19), nel quale dimostrava l'efficacia degli algoritmi da lui progettati per l'identificazione e la classificazione di cellule della mucosa nasale da immagini digitali tratte da vetrini. Si tratta del primo lavoro mai pubblicato in letteratura su questo tema.

In particolare, i primi studi si sono concentrati sulla progettazione e l'implementazione di reti neurali convoluzionali (CNN) per la classificazione delle immagini delle cellule. Gli studi proseguono su tecniche che tengano conto dello sbilanciamento delle classi, circostanza molto diffusa in medicina, sistemi software e tecnologie per l'osservazione e la classificazione real-time degli elementi cellulari direttamente in fase di osservazione al microscopio, tema quest'ultimo già oggetto di sperimentazione preliminare mediante l'uso di un dispositivo smartphone.

Modelli analoghi sono stati progettati da Giovanni Dimauro per affrontare il problema della **stima del battito delle ciglia (CBF) delle cellule ciliate in vivo**. L'osservazione di queste cellule è essenziale per indagare la discinesia ciliare primaria, una malattia rara associata ad altre malattie gravi come malattie respiratorie, situs inversus, malattie cardiache e infertilità maschile. Assodato che in letteratura non esistevano studi riportanti risultati concreti ha preso in considerazione lo studio di tecnologie a basso costo e di facile utilizzo dedicate alla misurazione della CBF, adattando o progettando algoritmi di elaborazione delle immagini per eseguire il rilevamento della regione cellulare di interesse. I risultati, già pubblicati, mostrano che mediante la progettazione di modelli di inferenza light, è possibile offrire un metodo di stima CBF affidabile e veloce che può essere eseguito in modo efficiente anche su dispositivi a basso costo, come uno smartphone di livello consumer, ponendo le basi per la diffusione dello screening di massa.

Di pari passo con la progettazione delle tecnologie di base, si è impegnato nella progettazione di una piattaforma, denominata Rhinocyt, che integra gli strumenti di analisi e diagnosi progettati e rende disponibile un servizio on-line in fase avanzata di sperimentazione da parte degli specialisti. Con l'obiettivo di rendere l'utilizzo della piattaforma efficace anche dal punto di vista della interazione, ha avviato, insieme ad altri colleghi una nuova ricerca nell'area **dell'Human-Centred Artificial Intelligence (HCAI)**, il cui obiettivo è creare sistemi intelligenti che siano dotati di algoritmi potenti ma che siano utili ed usabili per le persone, che le supportino nel raggiungere i loro obiettivi, che bilancino l'autonomia del sistema e il controllo da parte delle persone. In linea con questi obiettivi, coordina il lavoro di ricerca dei dottorandi di cui è attualmente supervisore o co-supervisore per identificare e definire come i metodi e i principi di HCI possono aiutare a progettare sistemi intelligenti human-centred, anche nell'ambito della citologia. Complessivamente, gli articoli pubblicati da Giovanni Dimauro su questa tematica sono stati citati **oltre 100 volte** in letteratura.

Nel 2019 è stato invitato a tenere una lecture sulle innovazioni basate sull'intelligenza artificiale in campo rinocitologico, al congresso nazionale di rinocitologia e nel 2023 al 109° Congresso della Società Italiana di Otorinolaringoiatria e Chirurgia Cervico-Facciale per presentare una lecture su nuovi modelli di AI nell'ambito dello studio della discinesia cellulare. Inoltre, viene regolarmente invitato a tenere seminari ai master in citologia avanzata con l'obiettivo di spiegare ai medici le tecniche e i sistemi per lo studio della popolazione cellulare del tratto nasale con tecnologie informatiche.

Signal Processing per la diagnosi e il monitoraggio della malattia di Parkinson

I pazienti affetti dalla malattia di Parkinson possono presentare difficoltà nel parlare a causa del ridotto coordinamento dei muscoli che controllano la respirazione, la fonazione, l'articolazione e la prosodia. La ricerca è stata orientata verso lo **studio e la progettazione di algoritmi** che consentono di misurare un set di parametri ritenuti rilevanti in letteratura scientifica ai fini della **misurazione delle alterazioni della voce nel Parkinson**, tra i quali i più importanti sono le frequenze sonore emesse dal paziente, le formanti F1 e F2 e la misurazione oggettiva della intelligibilità del discorso.

In collaborazione con l'Associazione Parkinson Puglia, basandosi sugli algoritmi sopra citati, **ha progettato e realizzato Voxtester, un sistema software** efficace e semplice da usare utile per misurare se i cambiamenti nell'emissione vocale sono sensibili ai trattamenti farmacologici. Medici e logopedisti possono facilmente utilizzarlo senza entrare nei dettagli tecnici. Il software è stato sperimentato da medici, care providers e volontari dell'Associazione Parkinson Puglia.

Già nel 2017 Giovanni Dimauro pubblica uno studio, primo nel suo genere e che ha ricevuto **oltre 60 citazioni su Scopus**, dimostrando che la valutazione dell'intelligibilità del parlato nella malattia di Parkinson può essere efficacemente ottenuta analizzando la precisione della comprensione delle parole attraverso il noto sistema pubblico *speech-to-text* di Google. Per realizzare lo studio, insieme agli esperti del dominio, ha definito uno specifico protocollo per l'acquisizione di voce e parlato dei pazienti affetti da malattia di Parkinson e ha progettato nuovi algoritmi e funzionalità del succitato software *Voxtester*. Gli esperimenti effettuati lavorando sul linguaggio patologico di pazienti con PD e quello regolare di due gruppi di controllo di persone sane, dimostrano l'ipotesi, aprendo uno nuovo importante scenario verso la valutazione automatica dell'intelligibilità del parlato nella malattia di Parkinson, ad esempio monitorando i pazienti a casa con sistemi domotici.

Studi sulla conservazione della biodiversità, modelli del sistema climatico e delle sue interazioni con la società e la medicina

Dal 2015 collabora con il Laboratorio di Sistemi e Tecnologie Industriali Intelligenti per il Manifatturiero Avanzato (STIIMA) del CNR. Le attività vengono svolte in collaborazione il Dipartimento di Biologia dell'Università di Bari, l'associazione di ricerca scientifica Jonian Dolphin Conservation la Nova Atlantis Foundation.

STIIMA, Nova Atlantis e Jonian Dolphin Conservation sono specializzati nella gestione di progetti marini con particolare focus su studi di impatto ambientale, e dispongono di risorse umane, attrezzature e logistica per lo studio sul mare e l'analisi dei dati. Molte specie di cetacei sono a rischio di fattori di stress antropici, inclusi i cambiamenti climatici, l'inquinamento delle aree urbane, la pesca eccessiva e il degrado dell'habitat. Un piano globale per la conservazione della biodiversità marina è fortemente auspicabile e dovrebbe includere valutazioni standardizzate delle popolazioni di cetacei. Gli studi di identificazione fotografica sono uno strumento chiave per questo scopo e l'uso di nuove tecnologie per accelerare il processo rende possibili studi su larga scala.

Giovanni Dimauro conduce da alcuni anni studi sull'uso dell'**apprendimento automatico e dei metodi statistici per l'identificazione fotografica** semiautomatica o automatizzata dei cetacei, mettendo a frutto l'esperienza pregressa nell'ambito dell' *image analysis* e l'uso di tecniche emergenti, quali il *deep learning*. Con il CMCC è stata avviata recentemente una collaborazione per la **realizzazione di studi e modelli del sistema climatico e delle sue interazioni con la società**, per garantire risultati affidabili, tempestivi e rigorosi al fine di stimolare una crescita sostenibile, proteggere l'ambiente e sviluppare, nel contesto dei cambiamenti climatici, politiche di adattamento e mitigazione fondate su conoscenze scientifiche e sullo sviluppo di previsioni e analisi quantitative del pianeta e della società del futuro. Complessivamente, gli articoli pubblicati da Giovanni Dimauro su questa tematica sono stati citati **oltre 120 volte** su Scopus.

Studi e modelli per la diagnosi e del monitoraggio di patologie cardiache

La classificazione delle aritmie cardiache attraverso le registrazioni dell'attività elettrica del cuore rappresenta un ambito strumento diagnostico non invasivo per il rilevamento di condizioni potenzialmente letali. Le forme d'onda o i ritmi mutevoli possono entrambi indicare anomalie in un ECG, ma un cardiologo deve sottoporsi ad anni di formazione per svolgere il compito professionale e tecnico di interpretarli, senza considerare il tempo necessario per una lettura approfondita, soprattutto dei tracciati lunghi, acquisiti ad esempio mediante un dispositivo Holter cardiaco. Uno degli obiettivi perseguiti è di proporre metodi d'indagine alternativi ed innovativi, in grado sia di rivelare l'insorgere della patologia in fase preclinica, sia di quantificarne l'entità, in modo tale da supportare il medico nella diagnosi precoce e accurata.

Nell'ambito dello studio delle aritmie cardiache ha orientato la sua ricerca verso un **metodo nuovo, basato su una tecnica di indagine chiamata vectorcardiography** per generare immagini bidimensionali dell'attività elettrica cardiaca, mappando le posizioni spaziali delle forme d'onda ECG. Ha dimostrato che con questa diversa tecnica, è sufficiente indagare solo una traccia tridimensionale, metodo più efficiente rispetto alla elaborazione delle dodici tracce ECG classiche. Insieme a colleghi dell'Università di Pisa ha progettato una pipeline automatica per la classificazione del ritmo cardiaco basandosi su una rappresentazione temporale più leggera basata sulla tecnica *vectorcardiography*. L'affidabilità del metodo proposto è comparabile ai risultati già riportati in letteratura, ma a fronte di un minore sforzo computazionale e temporale, utile anche a implementare questa tecnica su dispositivi indossabili.

A questa ricerca Giovanni Dimauro aveva già contribuito pubblicando uno studio su un **classificatore binario basato su un'architettura 1D-CNN** per rilevare il sospetto di anomalie negli ECG, proprio per adottarlo su architetture *light*.

Sempre nell'ambito delle patologie cardiache, insieme alla scuola di specializzazione in cardiologia dell'Università di Bari, Giovanni Dimauro aveva effettuato studi preliminari per determinare le caratteristiche sonore discriminanti dell'attività cardiaca, con scopo ultimo l'**identificazione di anomalie nel funzionamento di valvole meccaniche** in pazienti sottoposti a trapianto, per supportare il medico nella diagnosi precoce e accurata di trombosi valvolare.

Di particolare importanza per la raccolta dati è stato l'utilizzo di un **Registro Sanitario Elettronico** centrato sul paziente (co-progettato da Giovanni Dimauro, v. pubblicazioni) che attualmente è stato acquisito da una società start-up per la ingegnerizzazione e commercializzazione del prodotto (Electronic Smart Health S.r.l., <https://www.esh-srl.cloud/>). Il software è stato depositato alla SIAE.

Studi e modelli per il contrasto al crimine in tema di pedopornografia

Nel 2022 l'Università di Bari affida a Giovanni Dimauro la **responsabilità scientifica** del protocollo d'intesa tra il Dipartimento della Pubblica Sicurezza e la stessa Università di Bari, avente ad oggetto la prevenzione e contrasto dei crimini informatici, con particolare riferimento alla pedopornografia.

L'accordo tra le due Istituzioni fa seguito agli studi compiuti nei mesi precedenti da Giovanni Dimauro in collaborazione con altri colleghi del SERLAB (Danilo Caivano, Vita Santa Barletta e operatori della Polizia Postale) sull'ideazione di **algoritmi per l'identificazione automatica in rete di materiale pedopornografico**. La problematica è molto complessa, poiché non è possibile, ad esempio, addestrare modelli ben noti di *deep learning*, a causa della impossibilità di trattare direttamente materiale pedopornografico, la cui detenzione è reato grave sia in Italia che all'estero. La sfida però è stata vinta grazie alla ideazione di un nuovo approccio per addestrare i modelli *deep* (dei quali uno appositamente progettato) pur facendo uso di immagini non pedopornografiche la cui detenzione è ammessa. Ulteriori idee come, il

labeling su immagini segmentate e non ‘croppate’, sviluppo di algoritmi per la ‘fumettizzazione’ delle immagini per ridurre l’impatto psicologico durante la lunga e laboriosa attività di etichettatura delle immagini e il ricorso parziale a tecniche di machine learning non supervisionato, hanno avuto come risultato la progettazione di un sistema complesso, unico nel suo genere, capace di ridurre enormemente i tempi di intervento degli operatori di Polizia, con elevata affidabilità.

I risultati ottenuti, già più volte dimostrati alla presenza di alte figure istituzionali (<https://www.commissariatodips.it/notizie/articolo/firmato-protocollo-uniba-polizia-postale-per-la-prevenzione-e-il-contrasto-dei-crimini-informatic/index.html>), hanno riscosso l’interesse dell’Agenzia dell’Unione europea per la cooperazione nell’attività di contrasto alle forme gravi di criminalità internazionale e il terrorismo (**Europol**). Lo scorso 31 maggio 2023 a Roma, Giovanni Dimauro, insieme ai colleghi Caivano e Barletta e alla presenza di alti dirigenti della Polizia di Stato, ha incontrato una delegazione di EUROPOL - AP TWINS, team di lavoro internazionale dell’Europol (<https://www.europol.europa.eu/about-europol/european-cybercrime-centre-ec3>), convenuto presso la direzione centrale della Polizia Postale di Roma. Su questa ricerca non è ancora stato possibile produrre pubblicazioni scientifiche, pur pronte alla sottomissione, a causa delle clausole di riservatezza integrate nell’accordo interistituzionale, e per le quali è necessario svolgere delicate procedure autorizzative.