

■ **CNR ICAR** / L'Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni del Consiglio Nazionale delle Ricerche sviluppa applicazioni di avanguardia nel campo delle-health, energia, sicurezza, bioinformatica e città intelligenti

# Dall'intelligenza artificiale alla cyber-fisica: il futuro è già qui

Ricerca, trasferimento tecnologico e alta formazione nei sistemi intelligenti a funzionalità complessa e ad alte prestazioni: un'eccezione italiana

L'ICAR, Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni è un Istituto del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) che affisce al Dipartimento di Ingegneria, ICT e Tecnologie per l'Energia e i Trasporti (DIETET). La sua missione è quella di sviluppare ricerca, trasferimento tecnologico e alta formazione nell'area dei sistemi intelligenti a funzionalità complessa (sistemi cognitivi e robotica, rappresentazione, estrazione e gestione della conoscenza, interazione uomo-macchina, ottimizzazione) e dei sistemi ad alte prestazioni (cloud computing, ambienti paralleli e distribuiti, tecnologie avanzate per Internet). L'Istituto sviluppa applicazioni significative nel campo delle-health, energia, sicurezza, bioinformatica, beni culturali e città intelligenti. Le attività di ricerca si svolgono nell'ambito di tre aree tematiche principali

## Intelligenza Artificiale

La prima area tematica tematica, "Intelligenza Artificiale", è principalmente incentrata su aspetti di tipo teorico, sperimentale e applicativo riguardanti sistemi di nuova generazione in grado di apprendere e ragionare, mostrando caratteristiche di problem solving di tipo neuromorfico, di interazione con l'uomo in maniera naturale e personalizzata integrando aspetti emozionali e sociali.

Le attività di ricerca sono svolte in molti ambiti strettamente correlati fra loro quali: i) sistemi cognitivi per la robotica, ii) l'interazione uomo macchina compresa l'interpretazione del linguaggio naturale, iii) l'analisi dei dati multi-omici per la medicina di precisione, iv) l'analisi delle immagini per il medical imaging v) i modelli innovativi di machine learning, vi) i modelli descrittivi e predittivi per l'analisi e il mining di flussi real-time di big data. Tutti questi ambiti sono accomunati dall'uso di metodologie, algoritmi e tecniche per l'apprendimento automatico ed il ragiona-



mento "human-like".

In molti casi i sistemi di intelligenza artificiale devono poter anche spiegare come questi essi hanno ottenuto un determinato risultato o una certa risposta. Questa caratteristica, nota come explainable AI (XAI), è di fondamentale importanza poiché rende l'intelligenza artificiale "accettabile" in molti campi in cui le decisioni sono vitali. Molti sono i campi di applicazione delle ricerche condotte nell'ambito di questa area tematica. Essi infatti vanno dalla medicina di precisione ai beni culturali, dalla robotica all'industria 4.0, dalla pubblica amministrazione all' Ambient Intelligence.

## IoT & Cyber Physical Systems

L'area tematica "IoT & Cyber Physical Systems" è incentrata sulla visione della rete Internet estesa al mondo reale e agli oggetti fisici d'uso quotidiano. Gli oggetti sono



Il centro di calcolo ICAR-CNR

punti di accesso fisici all'Internet dei servizi e possono essere remotamente controllati. Il back end di questi punti di accesso fisici è un sistema massicciamente distribuito che integra diverse tecnologie come, per esempio, il calcolo pervasivo, dispositivi mobile e il Cloud. Tale tematica nasce quindi dalla sinergia tra Internet degli oggetti e il calcolo distribuito.

L'Internet degli oggetti e i sistemi cyber-fisici presuppongono una connettività avanzata di dispositivi, sistemi e servizi che interagiscono utilizzando un'ampia varietà di protocolli, domini e applicazioni. Si prevede che il suo sviluppo favorirà l'automatizzazione di processi in tutti i campi e la realizzazione di applicazioni avanzate come, per esempio, lo smart environment. I sistemi decentralizzati di oggetti intelligenti cooperanti stanno emergendo come un nuovo paradigma per l'Internet degli oggetti. Tali oggetti possono apprendere/attuare, memorizzare e interpretare informazioni create al proprio interno e nel mondo circostante, agire autonomamente, cooperare e scambiare informazioni con altre

tipologie di dispositivi elettronici e utenti umani.

Il calcolo distribuito prevede l'utilizzo di diversi computer interconnessi in rete per il conseguimento di un obiettivo computazionale comune. Esso condivide numerose caratteristiche e problematiche con il calcolo parallelo e quello concorrente, in special modo nell'ambito del calcolo scientifico.

Negli ultimi anni, gran parte delle tecnologie del calcolo distribuito, utilizzate in combinazione con le tecnologie di virtualizzazione dell'hardware, le architetture orientate ai servizi, l'autonomic e l'utility computing hanno dato vita al Cloud. La realizzazione di applicazioni scalabili che utilizzano infrastrutture Cloud, rende necessaria la progettazione di nuovi algoritmi e tecniche di calcolo che considerino scenari InterCloud e siano particolarmente attenti all'efficienza energetica. È di estrema importanza sviluppare applicazioni come, per esempio, le Smart Cities, Smart Home, Urban Computing perché queste domineranno il settore ICT nei prossimi anni.

## Data Science



La realtà aumentata rende possibile la sua applicazione nella pratica chirurgica

## La Quantum Intelligence alla sfida dei problemi complessi

L'rapido avanzamento delle tecnologie di Quantum Computing (QC) degli ultimi anni ha generato un profondo cambio di paradigma in relazione alle possibilità di calcolo ed elaborazione di informazioni in maniera parallela e simultanea, aumentando la mole di dati processabile, riducendo il tempo per la loro elaborazione e, infine, migliorando le prestazioni e l'efficienza dell'output di calcolo. Allo stesso tempo, l'Intelligenza Artificiale (IA) ha contribuito nell'ultima decade a rivoluzionare molteplici applicazioni, dal riconoscimento delle immagini, alla traduzione automatica di testi, ottenendo prestazioni sempre maggiori al crescere delle risorse di calcolo a disposizione.

L'ibridazione tra questi due paradigmi si delinea, quindi, come un nuovo approccio emergente, interdisciplinare e dall'impatto potenzialmente enorme, volto a fronteggiare alcune delle sfide più grandi riferite allo studio di fenomeni particolarmente complessi, e a fornire soluzioni computazionali a problemi attualmente intrattabili con i sistemi tradizionali di supercalcolo, consentendo di sviluppare modelli in grado di simulare accuratamente il mondo fisico, di progettare nuovi farmaci, di studiare nuovi materiali. Nell'ambito dell'IA, l'uso del QC può, infatti, offrire importanti vantaggi, come la possibilità di diminuire esponenzialmente la complessità spaziale di un problema codificando input ad alta dimensionalità in stati quantici, di velocizzare il calcolo di funzioni tramite circuiti quantistici e di raggiungere per determinati problemi, come la ricerca e l'ottimizzazione combinatoria, complessità temporali molto inferiori a quelle ottenibili su macchine classiche.

In tale contesto si inseriscono le attività di ricerca del Quantum Intelligence Lab, nuovo laboratorio dell'ICAR-CNR, istituito con l'obiettivo di sviluppare algoritmi e strumenti avanzati nel campo della Quantum Artificial Intelligence (QAI), volti alla risoluzione di problemi reali in domini come medicina di precisione/drug discovery, smart materials, energia e finanza.

Le attività principali che vedono coinvolto il laboratorio riguardano, in primo luogo, lo sviluppo di algoritmi di QAI in grado di affrontare problemi di grande interesse, con un focus specifico su approcci ibridi - classici e quantistici - e sui paradigmi di Ottimizzazione Numerica, Machine and Reinforcement Learning e Natural Language Processing, provando a superare le attuali difficoltà legate alla disponibilità di grandi moli di dati, e al numero sempre più alto di parametri nei modelli da addestrare, associati a costi in termini di tempo e risorse di calcolo elevati e difficilmente sostenibili.

In secondo luogo, il laboratorio è coinvolto nello studio di soluzioni di QAI per superare le limitazioni poste dai problemi di esplosione combinatoria nell'apprendimento e realizzazione di schemi decisionali per agenti robotici, in grado di interagire con l'ambiente fisico ed operare con efficienza in situazioni reali.

In ultimo, grazie alla partecipazione di ICAR-CNR all'IBM Quantum Network, una rete globale di oltre 170 organizzazioni con accesso alle competenze e alle risorse quantistiche di IBM, il laboratorio ha accesso a più di 20 computer quantistici, compreso il sistema quantistico Eagle con processore a 127 qubit, ed è, quindi, in grado di testare tutte le soluzioni algoritmiche sviluppate su Noisy Intermediate-Scale Quantum (NISQ) computer di ultima generazione, superando le limitazioni legate all'uso di simulatori.

"La computazione quantistica nei prossimi anni sarà uno strumento fondamentale per la ricerca di soluzioni a problemi scientifici e applicativi ritenuti irrisolvibili con gli attuali sistemi di supercalcolo - dichiara Giuseppe De Pietro - direttore di ICAR-CNR -. Tutto ciò porterà anche a una rivoluzione nel modo di pensare la progettazione di algoritmi e software, aprendo nuovi campi di ricerca".



Quantum Computing e Artificial Intelligence, connubio del futuro

L'area tematica "Data Science" comprende lo studio di metodi, modelli, algoritmi, approcci e linguaggi per la gestione, l'analisi e l'estrazione di conoscenza da dati complessi ed eterogenei, quali testi, immagini, video, reti, dati strutturati, dati geo-referenziati, multi-mediali e multi-dimensionali, che variano nel tempo.

L'obiettivo generale è favorire l'arricchimento dei dati stessi, da un lato in modo esplicito, fornendo informazione semantica tramite utilizzo di tecnologie semantiche dell'intelligenza artificiale e data analytics, dall'altro in maniera implicita, estraendo automaticamente conoscenza di dominio con tecniche di computational intelligence e di machine learning.

Dal punto di vista applicativo, le tematiche sviluppate nei gruppi afferenti a quest'area permettono di rendere più efficienti e sicure le attività di business analytics, di supporto alle decisioni, e di supporto e fruizione dei contenuti. In quest'ot-

tica, è particolarmente rilevante che le soluzioni (modelli, linguaggi, algoritmi) proposte siano specificamente in termini di schemi computazionali di scalable data processing, adeguati per i volumi, la varietà e la velocità dei dati complessi che risultano dai summenzionati scenari applicativi.

L'ICAR, inoltre, ha due laboratori dedicati rispettivamente alla Quantum Intelligence, che studia l'integrazione del calcolo quantistico con le tecniche dell'intelligenza artificiale, e al Calcolo ad Alte Prestazioni, che è dedicato allo sviluppo di applicazioni che richiedono sistemi di calcolo particolarmente performanti.

Numerosi sono i progetti di ricerca e trasferimento tecnologico ai quali l'ICAR ha partecipato e tuttora partecipa applicando con successo le proprie conoscenze. Attualmente, l'ICAR coordina due progetti Europei (Smart BEAR, A14Healthsec) su tematiche inerenti l'Intelligenza Artificiale applicata al settore della salute umana.

## La realtà aumentata per la chirurgia mininvasiva

L'rapido avanzamento nelle tecnologie della realtà aumentata (AR) rende oggi possibile la sua applicazione nella pratica chirurgica, sia nella fase pre-operatoria, per pianificare l'intervento, sia in fase operatoria, per supportare il processo decisionale. Applicazione della AR non si limita agli interventi a cielo aperto, in cui il chirurgo può indossare un visore e aumentare il mondo fisico, ma è stata sperimentata anche nella chirurgia mininvasiva, in cui il chirurgo opera attraverso piccole incisioni e visualizza su uno schermo l'area di intervento. In quest'ultimo caso, la maggiore conservatività dell'intervento ha come contraltare un campo visivo ridotto e una minore libertà di movimento del chirurgo, rendendo prioritario supportarlo con informazioni aggiuntive acquisite tramite diagnostica per immagini (TAC, RM ecc.) o elaborate dal computer.

Le soluzioni di AR hanno l'obiettivo generale di aumentare l'esperienza del chirurgo rispetto a quella ottenibile in virtù della realtà fisica del contesto, supportandolo in attività percettive, di ricerca o memoria, così da ridurre il carico cognitivo e liberare risorse mentali. Tramite un'integrazione di tecniche avanzate di AR e di intelligenza artificiale, si vuole costruire un'estensione del campo operatorio per supportare il chirurgo nel recupero di informazioni, nel processo decisionale e nello svolgimento di procedure complesse. Seguendo un approccio basato sulla teoria cognitiva dell'enattivismo si vuole valutare l'impatto dell'aumento dell'ambiente e l'estensione delle possibilità sensoriali del chirurgo sui suoi processi cognitivi. In quest'ottica, aumentando l'ambiente e le possibilità di interazione con esso, è l'intero processo cognitivo ad essere aumentato.

Per disegnare e sperimentare tali soluzioni, il gruppo di ricerca su Augmented Human-Computer Interaction dell'ICAR-CNR ha attivato collaborazioni di ricerca con le unità operative complesse di Chirurgia Epato-Bilio-Pancreatica, mini-invasiva e robotica e di Chirurgia Pediatrica del Policlinico di Napoli. Un primo strumento per la pianificazione pre-operatoria collaborativa in realtà aumentata di interventi di resezione epatica è attualmente in fase di sperimentazione. Il sistema permette all'équipe chirurgica di visualizzare un ologramma del fegato del paziente, di segmentarlo e manipolarlo interattivamente. L'interazione spaziale con l'ologramma consente di valutare i rapporti fra i noduli tumorali epatici e le strutture vascolari-biliari, così da pianificare in dettaglio la migliore strategia chirurgica da implementare. Rispetto al pre-operatorio, le soluzioni di AR per utilizzo intra-operatorio presentano elementi di complessità aggiuntivi dovuti anzitutto alla necessità di registrare i dati di imaging ai tessuti inquadrati dalla camera laparoscopica, i quali sono continuamente deformati per via della respirazione o delle interazioni con gli strumenti chirurgici. Un primo elemento di complessità risiede nel fatto che la registrazione necessita di una ricostruzione della struttura tridimensionale della scena a partire dalle immagini provenienti dalla videocamera che, nel caso di laparoscopi a singola ottica, sono bidimensionali. In seguito, la struttura così costruita dovrà essere registrata - fotogramma per fotogramma - a un modello anatomico deformabile realizzato sulla base dei dati di imaging del paziente.

Una nuova, promettente linea di ricerca è incentrata sull'impiego di reti neurali profonde per risolvere il complesso problema della registrazione, che al momento limita l'utilizzo della AR a tipologie di interventi in cui vi è una ridotta deformazione dei tessuti.