

OBIETTIVI DEL DIPARTIMENTI DI ECCELLENZA IN ROBOTICA & INTELLIGENZA ARTIFICIALE

O1 sviluppo di nuove generazioni di robot interconnessi che integrando i più recenti sviluppi dei settori dell'Intelligenza Artificiale (AI) e della Scienza e Tecnologia dei Materiali (STdM) possano dotare i robot di aumentate capacità cognitive, senso-motorie e fisiche.

- Design, sviluppo e validazione di esoscheletri innovativi e protesi di arto inferiore
- Sviluppo di una interfaccia miocinetica per il controllo di una protesi di arto superiore
- Nuovi algoritmi per il controllo di protesi di arto superiore basati sul transiente del segnale elettromiografico
- Studiare la locomozione, le ultrastrutture e le caratteristiche biochimiche degli organismi viventi per applicazioni in robotica e bioingegneria
- Ethorobotics per applicazioni in contesti sanitari
- Interazione animale – robot come paradigma sostenibile per sfide che riguardano l'ingegneria e la gestione ambientale
- Microrobots bio-ispirati
- Sviluppo di sistemi di Robotica e AI per sorveglianza, sicurezza e salute
- Sistemi senza pilota interattivi in rete
- Sistemi robotici distribuiti dotati di visione per manifattura intelligente

Design, sviluppo e validazione di esoscheletri innovativi e protesi di arto inferiore.

Tale ricerca ha lo scopo di progettare e sviluppare nuove soluzioni meccatroniche per esoscheletri di arti superiori e inferiori, così come protesi per arti inferiori, con l'obiettivo di ottenere robot indossabili che potrebbero essere potenzialmente efficaci sia nella riabilitazione che negli scenari di assistenza. Tali dispositivi si rivolgono a soggetti con problemi neurologici (ad esempio, pazienti post-stroke) o amputati e a soggetti anziani, con mobilità limitata. Per raggiungere questo obiettivo, sono stati progettati attuatori leggeri e compatti ma anche potenti per soddisfare i requisiti di usabilità ed efficacia. Inoltre, sono stati progettati e sviluppati nuovi algoritmi per un controllo intuitivo ed efficace di tali robot indossabili. Al fine di provare la validità delle ipotesi scientifiche alla base dello sviluppo di tali robot indossabili, il gruppo di ricerca ha condotto diversi studi clinici con amputati, pazienti post-stroke e sperimentazioni di laboratorio con soggetti sani.

Sviluppo di una interfaccia miocinetica per il controllo di una protesi di arto superiore.

Questa attività di ricerca mira allo sviluppo di una innovativa interfaccia di controllo per protesi di arto superiore, basata sull'impianto di magneti permanenti nei muscoli residui e chiamata interfaccia miocinetica. Le possibilità aperte da questa nuova interfaccia non hanno precedenti nel settore, poiché essa ha il potenziale di fornire un controllo diretto e fisiologico per molteplici gradi di libertà di un arto artificiale. Inoltre, sfruttando elementi passivi (i.e., magneti permanenti) che non richiedono di essere alimentati (e.g., al contrario dei sensori mioelettrici normalmente usati), questo controllo non è soggetto a fallimento o manutenzione elettrica.

Nuovi algoritmi per il controllo di protesi di arto superiore basati sul transiente del segnale elettromiografico.

Negli ultimi anni, abbiamo sviluppato un innovativo algoritmo AI che classifica la fase transiente del segnale elettromiografico. La fase steady-state, tipicamente utilizzata nei sistemi di pattern recognition di protesi mioelettriche di arto superiore, presenta in effetti numerosi limiti fisiologici, per cui il segnale presenta una debole struttura temporale (i.e. è per lo più segnale random). La fase transiente, al contrario, mostra pattern ripetibili (i.e. possiede una struttura più deterministica), per cui il segnale può essere considerato ripetibile solamente da un punto di vista statistico. La fase transiente, al contrario, mostra pattern ripetibili, come già

dimostrato da altri ricercatori. In questo contesto, abbiamo sviluppato algoritmi che catturano la fase transiente della contrazione muscolare e la classificano, sia dal punto di vista della presa che della forza di presa. Tali algoritmi sono stati testati, offline e online, sia con partecipanti sani che amputati. In particolare, nell'ambito del progetto DeTOP (<https://www.detop-project.eu/>), sono stati sviluppati dei sistemi embedded per il test casalingo di tali algoritmi. Il sistema di classificazione sviluppato è stato testato a casa da un paziente per un periodo di circa otto mesi. Tale paziente ha ricevuto il primo impianto al mondo costituito da un'interfaccia osseo-integrata bidirezionale (i.e. utilizzabile sia per la stimolazione nervosa che per la lettura dei segnali neuromuscolari) (<https://www.detop-project.eu/>).

Studiare la locomozione, le ultrastrutture e le caratteristiche biochimiche degli organismi viventi per applicazioni in robotica e bioingegneria.

Abbiamo studiato come le locuste siano in grado di adattarsi a substrati con varia rugosità ed elasticità grazie ad una combinazione di meccanismi di presa che comprende organi rigidi di ancoraggio, strutture adesive, e spiccate capacità propriocettive. Queste particolari caratteristiche possono essere considerate come una sorta di intelligenza morfologica, che rende le locuste capaci di muoversi su una grande varietà di substrati, anche molto diversi tra loro, evitando inefficienze energetiche sia in fase di salto che di atterraggio.

Inoltre, abbiamo analizzato come alcune nanostrutture presenti sulle ali e/o su altri organi di insetti, sia emimetaboli che olometaboli, abbiano una azione battericida basata su meccanismi fisici che possono ispirare la progettazione di substrati sintetici con le stesse proprietà. Questa tecnologia biomimetica potrebbe rappresentare un approccio fondamentale per contrastare le infezioni nosocomiali causate da ceppi batterici che hanno acquisito resistenza agli antibiotici. Tali studi riportano anche come diverse specie animali possano essere impiegate direttamente come "biotool" o come fonte di ispirazione nell'ingegneria medica.

Inoltre, studi effettuati su piante medicinali ed aromatiche hanno dimostrato come questi organismi rappresentino una fonte importante di soluzioni *green* per una vasta gamma di applicazioni nel mondo reale, ecologicamente sostenibili.

Ethorobotics per applicazioni in contesti sanitari.

Qui abbiamo proposto l'etorobotica (nuova disciplina della bionica che unisce l'etologia e la robotica) per creare comunità bioibride tra animali e robot, al fine di studiare e manipolare processi di interazione a livello neuroetologico, fisico e biochimico utili per programmare terapie appropriate in fase preclinica. Inoltre, abbiamo usato robot biomimetici come avatar per interagire con specie sociali di pesci per comprendere ulteriormente i meccanismi e l'evoluzione del distanziamento sociale quale misura di salute pubblica importante anche negli esseri umani nel ridurre ondate epidemiche per un numero elevato di agenti patogeni.

Interazione animale – robot come paradigma sostenibile per sfide che riguardano l'ingegneria e la gestione ambientale.

Sistemi intelligenti bioibridi con numerose potenzialità applicative in diversi settori tra cui il monitoraggio e la gestione degli ecosistemi, l'agricoltura, l'ingegneria, l'I.A., la bionica ecc. Questo campo scientifico ha diversi obiettivi importanti, tra cui il miglioramento del benessere animale e la sostenibilità ambientale attraverso la mitigazione della pressione antropica negli ecosistemi. Da un punto di vista ingegneristico, l'interazione animale-robot può permettere la creazione di reti ibride distribuite di sensori e attuatori dove i singoli nodi sono rappresentati sia da animali che da robot, portando così nuove capacità cognitive e fisiche ai sistemi robotici bioispirati.

Microrobots bio-ispirati.

Tale attività di ricerca si basa su una stretta interazione tra biologia e ingegneria per estrapolare nuovi concetti di design per robot bio-ispirati. Lo studio di sistemi naturali (ad esempio, organismi unicellulari) ha portato allo sviluppo di nuovi concetti per strutture adattative capaci di cambiare forma on-demand.

Sviluppo di sistemi di Robotica e AI per sorveglianza, sicurezza e salute

In questa linea di ricerca il Dipartimento sviluppa sensori anche indossabili e intelligenza di bordo (embedded) in grado di monitorare, azioni, ambienti, al fine di garantire migliori condizioni di sicurezza per i lavoratori,

predire condizioni di rischio operativo o anticipare condizioni critiche che possono portare a danno da affaticamento. Tale campo scientifico ha diversi obiettivi fondamentali come: lo studio delle condizioni limite adeguate al singolo individuo e dell'adattamento degli algoritmi di analisi in funzione delle capacità fisiche e cognitive individuali; l'analisi delle prestazioni biomeccaniche degli individui, la correlazione con la postura ed il movimento, e l'analisi delle situazioni da attenzionale; la costruzione di banche dati cinestetiche del movimento e lo sviluppo di algoritmi di intelligenza artificiale in grado di monitorarli; lo sviluppo di sistemi di sorveglianza in cloud in grado di monitorare il movimento degli operatori e le condizioni di rischio per i lavoratori.

Sistemi senza pilota interattivi in rete

Nell'ambito delle attività del Dipartimento questa linea di ricerca mira allo sviluppo di una nuova generazione di sistemi robotici distribuiti ed interconnessi in grado di eseguire compiti di elevata complessità in ambienti non strutturati. Vengono presi in considerazione sia sistemi volanti (droni) che sistemi di terra (veicoli) entrambi dotati di intelligenza di bordo e connettività che consenta loro di analizzare e pianificare in autonomia i propri task mentre dialogano con sistemi di terra ed operatori remoti per riportare risultati di osservazioni e negoziare variazioni comportamentali. Tra le attività principali in oggetto di ricerca e di comune interesse con diverse realtà industriali vi sono: il search & rescue, il volo indoor con inseguimento in ambienti non strutturati e con solo sensori di visione, l'analisi in tempo reale della qualità dei circuiti, la gestione autonoma di missioni di ispezione complesse, l'integrazione a bordo di reti di inferenza per la classificazione delle minacce ed il rilievo di anomalie.

Sistemi robotici distribuiti dotati di visione per manifattura intelligente

In questa linea di ricerca il Dipartimento mira a sviluppare una nuova generazione di robotica negli impianti industriali che possa combinare efficienza, potenza, continuità e velocità della robotica, con le competenze e la sensibilità visiva, tattile e cognitiva propria di operatori umani. Tale categoria di sistemi permette infatti di risolvere nuove classi di problemi di produzione industriale prossime al lavoro artigianale dove le competenze di produzione sono correlate a una produzione non uniforme, a parti meccaniche (o in altri materiali) deformabili e a componenti reperibili fuori da contenitori allineati. Nel corso dei primi anni del Dipartimento sono già stati sviluppati ed applicati in maniera sperimentali alcuni primi prototipi industriali in funzione presso compagnie multinazionali disposte a sperimentare nuove soluzioni di ricerca.

O.2 Sviluppo dell'AI con integrazione di calcolatori paralleli, tecniche IoT, e algoritmi di machine, deep, e reinforcement learning, per produrre nuove capacità cognitive in robot autonomi di qualità superiore a quelli della generazione esistente

- Intelligenza Artificiale sicura e affidabile
- Sistemi di IA predicibili
- AI, DL & RL per automazione e industria 4.0
- Interfacce neurali e algoritmi di AI per applicazioni neuroprotesiche e neuroriabilitative
- AI e Data Science per analisi dati generati da sensori tattili e per il controllo interfacce indossabili
- Sistemi multiagente in applicazioni industriali
- Progettazione e valutazione di algoritmi di controllo bio-ispirati per collaborazioni uomo-robot

Intelligenza Artificiale sicura ed affidabile

Metodi di difesa per attacchi di tipo avversario a reti neurali. Tale ricerca ha lo scopo di sviluppare metodi per la rilevazione di ingressi avversari, inclusi gli attacchi robusti alle trasformazioni (quali traslazione, rotazione, sfocatura, ecc.). Nello specifico, è stato progettato un metodo basato sull'ottimizzazione di una speciale perturbazione difensiva realizzata per essere applicata all'immagine di ingresso e progettata per rimuovere la robustezza degli attacchi avversari. La ricerca esplora anche la capacità di rilevare attacchi trasferibili a diversi modelli di rete neurale, attraverso l'introduzione di reti neurali ridondanti seguite da un meccanismo di voto a maggioranza. **Analisi di copertura per aumentare l'affidabilità delle reti neurali.** La ricerca mira a rilevare input insicuri mediante metodi di analisi di copertura al momento dell'inferenza. In una fase off-line, vengono memorizzati, per ogni layer e classe, i range di attivazione dei neuroni su un dataset attendibile. Durante l'inferenza, le attivazioni relative ad un nuovo input vengono confrontate con quelle memorizzate in precedenza, quantificando la deviazione dal comportamento attendibile. Tale deviazione viene utilizzata per calcolare il livello di affidabilità della previsione. Diversi metodi di analisi della copertura sono stati valutati e testati nell'architettura per valutare logiche di rilevamento multiple. **Garanzia di robustezza contro attacchi avversari.** Derivazione teorica di un bound per valutare la robustezza di ingressi ad attacchi avversari. In particolare, la ricerca è finalizzata a stimare la distanza di un ingresso dal confine di classificazione di una rete neurale, in modo da garantire, in fase di inferenza, che l'ingresso sia genuino, assumendo attacchi avversari di entità minore della distanza stimata. **Attacchi e metodi di difesa per reti di semantic segmentation.** La ricerca ha lo scopo di rilevare esempi avversari nel mondo reale ottenuti mediante opportuni cartelli che possono essere realizzati per ingannare le reti di segmentazione semantica in applicazioni di guida autonoma. La ricerca ha anche lo scopo di valutare la robustezza dei modelli esistenti per segmentazione semantica, identificando i punti di debolezza. **Sicurezza in sistemi cyber-fisici basati su AI.** La ricerca mira a realizzare un'architettura software basata su hypervisor che consenta di integrare un dominio di calcolo ad alte prestazioni, che ospita algoritmi di machine learning, con un dominio di calcolo sicuro e certificabile, che ospita componenti software ad elevata criticità, come controllori, algoritmi di voting, sistemi di rilevazione di ingressi avversari o inaffidabili elaborati da reti neurali. L'architettura è stata implementata ed utilizzata per controllare un robot mediante il middleware ROS2. **Apprendimento federato attento alla privacy.** Questa ricerca indaga sull'applicabilità dei metodi per la privacy differenziale al contesto della formazione di modelli di IA ad apprendimento federato, in modo da preservare in modo dimostrabile la privacy dei dati degli utenti per i singoli nodi di una rete distribuita. **Strumenti avanzati di variable selection:** Questa ricerca investiga metodologie general-purpose per la selezione delle variabili di input più rilevanti nello sviluppo di modelli basati su tecniche di machine learning per applicazioni di classificazione o regressione.

Sistemi di AI predicibili

Accelerazione predicibile di reti neurali su FPGA. La tecnologia FPGA è in grado di accelerare l'inferenza di reti neurali con una maggiore predicibilità un minore consumo energetico rispetto alle GPU. Tuttavia, uno dei principali problemi dei sistemi basati su FPGA è una maggiore complessità di progettazione del software, che richiede una notevole esperienza per gestire correttamente le risorse disponibili. Questa ricerca sfrutta la

tecnologia FPGA per ottenere acceleratori per reti neurali altamente predicibili dal punto di vista temporale. Inoltre, la ricerca sfrutta la riconfigurazione parziale dinamica per creare una FPGA virtuale più grande, in cui diverse reti neurali possono essere eseguite in timesharing sul tessuto fisico dell'FPGA, fornendo un framework automatizzato per sintetizzare acceleratori neurali ottimizzati per garantire vincoli temporali e di risorse.

Miglioramento della prevedibilità nei motori di inferenza. Lo scheduler nativo utilizzato in Tensor Flow per eseguire reti neurali profonde su piattaforme multicore è ottimizzato per il caso medio, ma può introdurre ritardi imprevedibili, rendendolo inadatto all'uso per applicazioni real-time ad elevata criticità. Questa ricerca mira a modellare lo scheduler TensorFlow e migliorarne la prevedibilità, introducendo nuovi meccanismi a livello di nodo progettati per gestire il carico computazionale specifico di una rete neurale.

AI, DL & RL per automazione e industria 4.0

In questa linea di ricerca vengono studiati sistemi e metodologie di analisi dati, intelligenza artificiale, big data, reinforcement learning e deep learning per applicazioni nei settori della produzione industriale e della industria 4.0. Durante i primi anni di ricerca del Dipartimento sono numerose le collaborazioni industriali, di ricerca e trasferimento tecnologico con diversi settori industriali e dei servizi quali, a titolo di esempio: i settori siderurgici; la manifattura; le telecomunicazioni; l'aeronautica; l'ingegneria civile; i trasporti. Le schede tecniche e i risultati scientifici raggiunti e le collaborazioni specifiche sono elencati e dettagliati nella descrizione inglese delle aree di ricerca del dipartimento.

Interfacce neurali e algoritmi di AI per applicazioni neuroprotesiche e neuroriabilitative.

Lo sviluppo di interfacce neurali altamente funzionali è essenziale per ripristinare le funzioni fisiologiche come il feedback sensoriale negli amputati degli arti superiori e inferiori, le funzioni cardiovascolari nei pazienti trapiantati di cuore, nei pazienti con disfunzioni della vescica e le funzioni dei nervi ottici. Nell'ambito di tali attività di ricerca sono stati sviluppati diversi tipi di elettrodi neurali per ripristinare tali funzioni.

Nell'ambito della medesima linea di ricerca, l'attività si è concentrata sullo sviluppo e testing di una serie di dispositivi neuroprotesici volti a ripristinare le funzioni perse a causa di una varietà di disturbi neurologici o lesioni neurotraumatiche. I campi di applicazione sono stati:

- I. Stimolazione neurale per ripristinare la sensazione (es. tattile) negli amputati degli arti superiori.
- II. Riabilitazione post-ictus per il ripristino del controllo motorio.
- III. Monitoraggio della camminata, anche con l'uso di sensori indossabili

Sviluppo di nuovi strumenti per l'analisi di segnali biologici come l'attività neurale a diversi livelli, l'attività muscolare e i movimenti. Utilizzo di metodi delle Neuroscienze Computazionali come l'analisi dell'informazione e la decodifica di segnali neurali biologici ed artificiali, simulazioni di reti neuronali e algoritmi di *machine learning*. Lo scopo di queste attività di ricerca è lo sviluppo di nuove terapie per la sostituzione di funzioni corporee mancanti o alterate. Utilizzo di algoritmi di *deep learning* per l'analisi di un'ampia gamma di immagini diagnostiche (endoscopia, ecografia, risonanza magnetica, imaging RGB-D) per supportare i medici durante procedure cliniche e chirurgiche.

AI e Data Science per analisi dati generati da sensori tattili e per il controllo interfacce indossabili.

Sviluppo di soluzioni di Intelligenza Artificiale e scienza dei dati per elaborare le informazioni generate dai sensori tattili e per controllare le interfacce indossabili al fine di aumentarne il feedback aptico. Gli ambiti di applicazione di tali tecnologie abilitanti vanno dalle protesi bioniche e tecnologie sanitarie fino alla robotica collaborativa e all'industria 4.0. A questo scopo, sono stati intrapresi studi neuroscientifici con tecniche elettrofisiologiche come patch clamp, micro-neurografia, micro-neuro-stimolazione ed elettroencefalografia, per indagare i processi neurofisiologici alla base dell'intelligenza naturale e delle relazioni corpo-cervello con specifico riferimento al sistema sensoriale tattile. Questo insieme di conoscenze fondamentali è stato poi tradotto nello sviluppo di sensori innovativi e nuove interfacce uomo-macchina.

Sistemi multiagente per applicazioni industriali

In questa linea di ricerca vengono considerati approcci basati su agenti per la produzione, la simulazione e l'ottimizzazione dei processi complessi di produzione industriale. Un approccio multi-agente durante la fase di modellazione consente alla catena di processo di abilitare la produzione intelligente. Tema della ricerca è quello di sviluppare modelli di agenti che siano condizionati da eventi per controllare e simulare le operazioni di processo in una fase generica della produzione industriale che sia comprensiva delle incertezze connesse alla

produzione. L'implementazione di tali agenti consente la realizzazione di sistemi ciber-fisici in grado di ottimizzare elementi produttivi quali ad esempio i profili di temperatura durante processi termici. Nella analisi sono presi in considerazione piattaforme software che consentono la simulazione e la distribuzione dei programmi di produzione.

Progettazione e valutazione di algoritmi di controllo bio-ispirati per collaborazioni uomo-robot.

Raggiungere una collaborazione robusta, sicura e flessibile tra esseri umani e robot, dove i robot manipoleranno oggetti insieme agli esseri umani, è la prossima grande sfida della robotica, ottenibile anche per mezzo di una corretta progettazione dell'end-effector del robot. Al giorno d'oggi i robot sono specificamente progettati per insiemi limitati o ristretti di compiti in ambienti strutturati, e soprattutto non sono progettati né programmati per collaborare in modo fluido con gli esseri umani. I robot collaborativi hanno il potenziale di promuovere la reintegrazione nella società delle persone disabili e dare loro la possibilità di tornare anche alla loro vita professionale. Dall'altro lato, in ambiente domestico il robot collaborativo fornirebbe assistenza alle persone disabili e agli anziani durante task come il trasporto di oggetti pesanti, o semplicemente passare delicatamente una bottiglia d'acqua. Ad oggi, l'interazione uomo-robot è poco intuitiva, restrittiva e limitata ad una rigida modalità di comando e risposta. Le sfide fondamentali che stiamo affrontando all'interno di questa linea di ricerca sono: i) come costruire mani artificiali funzionali e destre in grado di condividere strumenti e ambienti progettati per gli esseri umani; ii) come abilitare un'interazione fluida, efficiente e sicura, e iii) come permettere ai robot di afferrare e manipolare autonomamente oggetti della vita quotidiana.

O.3 Sviluppo di competenze e metodologie di AI per l'applicazione in sistemi robotici, sia come intelligenza di bordo (locale) che come intelligenza di "cloud".

- Operazioni basate sull'intelligenza artificiale dei servizi cloud.
- Distribuzione di servizi di AI in Rete e reti virtualizzate, operazioni basate sull'intelligenza artificiale dei servizi cloud.
- Distribuzione di servizi di AI in Rete e reti virtualizzate, tecniche di AI a supporto delle operazioni di cloud computing e infrastrutture di rete virtualizzata (VNF).
- Strumenti open source per un'elaborazione SOM efficiente su piattaforme multicore e con accelerazione GPU.
- Ispezioni di qualità produttive tramite AI e nodi distribuiti
- Sistemi per la localizzazione di veicoli smart tramite segnali emessi dal cloud

Operazioni basate sull'intelligenza artificiale dei servizi cloud.

Questa ricerca esamina e fornisce prototipi di strumenti basati sull'intelligenza artificiale per automatizzare le operazioni nei servizi cloud, inclusi il ridimensionamento elastico e la gestione dei guasti, basati sull'apprendimento continuo dei modelli di intelligenza artificiale basati sulle metriche KPI disponibili, nonché sull'apprendimento dalle azioni degli operatori.

Distribuzione di servizi di AI in Rete e reti virtualizzate, operazioni basate sull'intelligenza artificiale dei servizi cloud.

Questa ricerca esamina e fornisce prototipi di strumenti basati sull'intelligenza artificiale per automatizzare le operazioni nei servizi cloud, inclusi il ridimensionamento elastico e la gestione dei guasti, basati sull'apprendimento continuo dei modelli di intelligenza artificiale basati sulle metriche KPI disponibili, nonché sull'apprendimento dalle azioni degli operatori.

Distribuzione di servizi di AI in Rete e reti virtualizzate, tecniche di AI a supporto delle operazioni di cloud computing e infrastrutture di rete virtualizzata (VNF).

Questa ricerca indaga tecniche di machine learning e reti neurali per analizzare l'enorme quantità di dati provenienti dal sistema di monitoraggio di un'infrastruttura cloud, per scopi legati alle operazioni di supporto, risoluzione dei problemi delle prestazioni, analisi delle cause principali, previsione del carico di lavoro e pianificazione della capacità.

Strumenti open source per un'elaborazione SOM efficiente su piattaforme multicore e con accelerazione GPU.

In questa ricerca, è stato realizzato XPySom, un'implementazione open-source delle note mappe auto-organizzanti (SOM) progettata per ottenere prestazioni elevate su un singolo nodo, sfruttando librerie Python ampiamente disponibili per l'elaborazione tensoriale su CPU multi-core e GPGPU. La sperimentazione con il set di dati aperti Extended MNIST mostra un'accelerazione fino a 7x e 100x rispetto alle migliori implementazioni multi-core open source che si possono trovare rispettivamente con accelerazione multi-core e GPGPU, ottenendo lo stesso livello di accuratezza in termini di errore di quantizzazione.

Ispezioni di qualità produttive tramite AI e nodi distribuiti

Questa linea di ricerca si concentra sulla produzione di architetture di sistemi distribuite e interconnesse in grado di integrarsi con i cicli produttivi di impianti di produzione e/o di manutenzione. I sistemi sviluppati devono essere in grado di imparare da basi di dati di addestramento (Traditional DL training) ma anche di apprendere dalla linea di produzione stessa tramite un processo di apprendimento continuo che possa seguire l'evoluzione temporale degli impianti e della catena produttiva. L'ispezione, inoltre, si deve adattare alla presenza degli operatori umani che possono interferire con gli assetti standard di una stretta produzione industriale e si devono adeguare a variazioni non modellate dovute agli interventi manutentivi sugli impianti. I risultati della ispezione devono inoltre essere integrati in un'ottica di rete e di impianto al fine di interrompere se necessario

preventivamente il ciclo di produzione sul pezzo o di richiedere quando necessario l'intervento manutentivo dell'operatore umano.

Sistemi per la localizzazione di veicoli smart tramite segnali emessi dal cloud

In questa linea di ricerca si punta l'attenzione alla capacità di utilizzare i segnali di comunicazione di rete (WiFi LTE) in combinazione con i dispositivi di bordo per ottenere una localizzazione esatta dei veicoli intelligenti anche in assenza di una infrastruttura dedicata nell'ambiente oppure di segnali GPS. Tali applicazioni trovano particolare interesse in ambienti industriali parzialmente strutturati, con topologie riconfigurabili ed in ambienti con presenza di persone come i negozi e la distribuzione al consumo.

0.4 sviluppo di tecnologie fondamentali di computing & networking, abilitanti per l'interconnettività tra sistemi robotici per l'accesso continuo a potenze di calcolo e analitiche predittive disponibili nel "cloud".

- Ricerche su robotica distribuita ed interconnessa
- Cluster per disaggregazione di stazioni radio base
- Supporto di offloading a tecniche AI
- Processori neurali fotonici

Ricerche su robotica distribuita ed interconnessa

Questa ricerca condotta nell'ambito dell'omonimo laboratorio si concentra sullo studio di sistemi di inferenza ad alte prestazioni tramite piattaforme FPGA e switch con interfacce ad alta velocità (100GB/s) in maniera da programmare il traffico dati sulla base delle esigenze di elaborazione e di utilizzare un linguaggio indipendente dal protocollo (P4). L'obiettivo di tali sistemi è quello di alterare in tempo reale le politiche di offloading ed instradamento per la redirezione del calcolo verso un nodo di offloading remoto e restituire in tempo reale l'elaborazione effettuata dal sistema controllato.

Cluster per disaggregazione di stazioni radio base

Nell'ambito di questa ricerca sono prese in considerazione i nodi denominati Radio Access Network dei sistemi di nuova generazione 5G seguendo un approccio denominato "flexible functional split". Obiettivo della disaggregazione è quello di eseguire un offloading tra unità distribuite (DU) quanto più prossime alle stazioni radio ed un cloud centralizzato (CU) in maniera che entrambi risultino virtualizzati nel cluster. Temi di ricerca sono lo studio dei framework scalabili per la telemetria.

Supporto di offloading a tecniche AI

Scopo di questa linea di ricerca è migliorare i servizi di edge computing e le applicazioni in grado di supportare l'intelligenza artificiale per consentire loro di basarsi su risorse edge piuttosto che del cloud. In quest'ottica si pensa a implementare servizi completamente edge-based senza l'intervento delle risorse cloud per consentire di implementare soluzioni tecnologiche che per motivi di sicurezza industriali sono più vicine alle sensibilità industriali. Tra le linee di ricerca e i servizi AI che sono in corso di studio sono considerati servizi di: IoT, veicoli autonomi, robotica, healthcare, telepresenza. L'obiettivo finale è quello di produrre una completa infrastruttura 5G/Edge che offra servizi di calcolo, accelerazione computazionale, memorizzazione, networking a prestazioni di calcolo, scalabilità, agilità, sicurezza e latenza superiori a quelle disponibili nel cloud e adeguate per sistemi a missione critica.

Processori fotonici

Questa linea di ricerca studia come i processi fotonici possano implementare su dispositivo le caratteristiche proprie delle reti neurali (Photonic Neural Network) offrendo quindi le caratteristiche di superiorità tipiche delle soluzioni di calcolo ottico: maggior velocità, bassi consumi, maggiore immunità ai disturbi. In aggiunta grazie alle metodiche di progettazione si considera di poter raggiungere un elevato parallelismo sullo stesso chip grazie alla capacità di usare caratteristiche proprie della luce (polarizzazione lunghezza d'onda) non presenti nei sistemi elettrici. In questa linea di ricerca verranno analizzate le strutture di calcolo ottiche capaci di riprodurre gli effetti richiesti nelle componenti di reti neurali. Verranno proposte diverse implementazioni ottiche per il calcolo lineare e l'analisi a diverse condizioni di precisione numerica. Inoltre, sono studiati i problemi di interfacciamento degli acceleratori neurali fotonici con componenti di elettronica non lineare necessari per la realizzazione di reti complete.

O.5 Studio delle STdM, dal punto di vista fisico-chimico che meccanico, per la realizzazione di sensori, attuatori, meccanismi e strutture da performance uniche o superiori a quelli esistenti.

- Meccanica e geometria di materiali intelligenti per la sensorizzazione e l'adattamento di forma
- Shape programming per materiali intelligenti e strutture adattive
- Tecnologie mecatroniche basate su materiali morbidi e cedevoli
- Meccanoelettrotrasduttori impiantabili, indossabili e portatili
- Materiali biocompatibili per lo sviluppo di una interfaccia di controllo miocinetica
- Materiali intelligenti in grado di rispondere a stimoli esterni (shape morphing)

Meccanica e geometria di materiali intelligenti per la sensorizzazione e l'adattamento di forma

I materiali intelligenti possono essere utilizzati come attuatori grazie alla loro capacità di cambiare forma in risposta a stimoli esterni non di natura meccanica. In questa linea di ricerca il Dipartimento studia diversi tipi di materiali come i gel polimerici attivi, che si deformano a causa di un aumento/riduzione di volume. L'elemento chiave del loro comportamento risiede nella natura poroelastica utile per la realizzazione di nuovi attuatori. Inoltre, la linea di ricerca si è concentrata sullo studio di modelli teorici o modelli computazionali per predire i cambiamenti di forma sulla base dei materiali. Questi modelli evidenziano le interconnessioni che esistono tra la geometria e la meccanica che si mantiene a diversi livelli di scala e tipologie di materiali. Tramite le attrezzature acquisite dal Dipartimento vengono prodotti prototipi 4D che aggiungono ai materiali intelligenti la capacità di avere una memoria sulla forma. Nella medesima linea di ricerca, vengono inoltre studiati gli effetti combinati di questi materiali con materiali piezoelettrici e sensori tattili per lo sviluppo di nuove tipologie di sensori.

Shape programming per materiali intelligenti e strutture adattive.

Questa linea di ricerca si è occupata dello sviluppo di nuovi modelli e algoritmi di simulazione numerica per la previsione della risposta di materiali smart e strutture adattive a stimoli esterni. L'attività di ricerca si basa sulla estrapolazione di nuovi concetti di *morphing* ottenuti dall'interazione tra la geometria e la meccanica del materiale, spesso prendendo ispirazione dai modelli biologici (sia dal regno animale che vegetale). Il risultato di questi studi ha permesso lo sviluppo di nuovi concetti per la progettazione e l'attuazione di strutture robotiche soft.

Tecnologie mecatroniche basate su materiali morbidi e cedevoli.

La Soft Robotics è un campo emergente della robotica che riconsidera il ruolo delle proprietà dei materiali che costituiscono il corpo del robot. In particolare, rimette in discussione l'idea che un robot debba essere fatto necessariamente di materiali rigidi. I materiali morbidi hanno caratteristiche tali da poter essere usati per sviluppare interi robot con avanzate capacità di movimento e la natura lo dimostra molto chiaramente con animali come i polpi. Tuttavia, questo nuovo campo è ancora agli inizi e sono necessari molti sforzi, soprattutto nello sviluppo di tecnologie di base e abilitanti. Il Dipartimento ha lavorato attivamente soprattutto nello sviluppo di nuovi tipi di attuatori, sensori e meccanismi, basati su materiali morbidi e/o flessibili e capaci di cambiare la loro rigidità quando necessario.

Meccanoelettrotrasduttori impiantabili, indossabili e portatili.

Questa linea di ricerca ha affrontato lo sviluppo di meccanoelettrotrasduttori impiantabili, indossabili e portatili attraverso processi di fabbricazione chimico-fisica, la loro integrazione in materiali polimerici morbidi e l'applicazione di metodi di modellazione FEM per il monitoraggio biomeccanico e bioelettronico cardio-respiratorio in scenari clinici, lavorativi e sportivi, sensori tattili intelligenti e interfacce aptiche, e trasduttori per la raccolta di energia rinnovabile nella green economy.

Materiali biocompatibili per lo sviluppo di una interfaccia di controllo miocinetica.

L'interfaccia miocinetica per il controllo di protesi di arto superiore prevede l'impianto di magneti permanenti all'interno dei muscoli. I magneti permanenti in neodimio sono di per sé tossici per l'organismo, e in letteratura non sono presenti indicazioni su materiali di rivestimento atti a garantirne la biocompatibilità. Pertanto, è stato intrapreso uno studio per identificare il materiale più adatto a garantire la sicurezza dell'impianto aprendo così la strada ad una nuova generazione di protesi controllate tramite l'approccio miocinetico.

Materiali intelligenti in grado di rispondere a stimoli esterni (shape morphing).

I materiali intelligenti possono essere impiegati come attuatori sfruttando la loro capacità di cambiare forma in risposta a stimoli esterni non meccanici. In questa ricerca ci concentriamo su diversi tipi di materiali intelligenti, compresi i gel polimerici attivi, che si deformano a causa dell'aumento/diminuzione di volume. Al fine di ottimizzare la risposta di tali materiali, sono stati messi a punto modelli teorici e computazionali che possono essere utilizzati per prevedere i cambiamenti di forma consentendo di progettare attuatori e sensori innovativi e sempre più orientati all'applicazione.

O.6 Studio Materiali multifunzionali, reattivi e in grado di auto-assemblarsi, con cui realizzare corpi e componenti di robot di nuova generazione.

- Robot bio-ibridi e biodegradabili per monitoraggio ambientale.
- Materiali intelligenti per una nuova generazione di dispositivi biomedicali.
- Simulatori fisici basati su materiali morbidi e organi artificiali.
- Muscoli elettrostatici
- Elastomeri dielettrici per l'attuazione ed il recupero energetico

Robot bio-ibridi e biodegradabili per monitoraggio ambientale.

Questa linea di ricerca propone un nuovo concetto di robotica che permette di eseguire un monitoraggio ambientale in maniera autonoma, a basso costo e a lungo termine tramite robot bio-ibridi. Oltre a minimizzare il coinvolgimento umano e/o l'interazione con l'ecosistema grazie all'uso di sistemi autonomi, un ulteriore passo avanti è stato fatto nel rendere questi robot biodegradabili. La biodegradabilità dei robot assicura che non ci sia un impatto a lungo termine sul sistema monitorato. Mediante l'uso di robot bio-ibridi, si introduce un nuovo paradigma "life form in the loop" che permetterà lo sviluppo di nuove entità bio-ibride complesse per il monitoraggio ambientale dove specie selezionate di organismi colonizzeranno le componenti artificiali di queste entità fungendo da biosensori e/o da generatori di energia elettrica.

Materiali intelligenti per una nuova generazione di dispositivi biomedicali.

Questa linea di ricerca ha affrontato lo sviluppo di materiali intelligenti (in alcuni casi includendo anche cellule viventi) per una nuova generazione di dispositivi biomedicali. Nello specifico, l'attività ha riguardato lo sviluppo di materiali ibridi artificiali-biologici per la rigenerazione di impianti e tessuti, sostituti del tessuto sintetico per imitare le caratteristiche di tessuti/organi naturali ma anche per lo sviluppo di robot non convenzionali, e l'uso di materiali avanzati per sviluppare set-up che simulano tessuti/organi su cui verificare l'efficacia di diverse tecnologie biomediche.

Simulatori fisici basati su materiali morbidi e organi artificiali.

La robotica morbida sta dimostrando che l'uso di materiali morbidi per sviluppare sistemi robotici è possibile e porta in alcuni casi dei vantaggi rispetto ad approcci più tradizionali basati su materiali rigidi. Uno dei campi di ricerca più promettenti che stanno sfruttando questi vantaggi è legato alla possibilità di replicare la funzionalità dei tessuti molli degli esseri viventi. In particolare, questo è possibile a due diversi livelli: simulatori fisici, che sono in grado di riprodurre la funzionalità degli organi e che possono essere utilizzati per studiare condizioni fisio-patologiche; organi artificiali, che oltre a replicare la funzionalità fisiologica, devono anche affrontare questioni legate alla biocompatibilità per l'impianto.

Muscoli elettrostatici

Obiettivo di questa ricerca è lo sviluppo di una nuova generazione di attuatori elettrostatici composti da film sottili e liquido dielettrico accoppiati con un polimero rigido per formare geometrie solide predefinite e capaci di contrazioni non planari. Tali unità, semplici da produrre possono essere disposte in serie e parallele per la realizzazione di muscoli artificiali e robot attuati tramite fluidi, oppure come sistemi per il recupero energetico.

Elastomeri dielettrici per l'attuazione ed il recupero energetico

Questa linea di ricerca ha lo scopo di generare una nuova classe di trasduttori basati su elastomeri dielettrici che possano essere impiegati alternativamente sia come attuatori che come generatori. Nella modalità di attuazione essi offrono un sistema a basso costo ed alte prestazioni per convertire segnali elettromagnetici per la robotica e sistemi mecatronici miniaturizzati. Quando in modalità di generatori essi sono un sistema completamente innovativo per il recupero energetico dal movimento (onde, vento,...). Il gruppo di lavoro al momento copre entrambe le attività di ricerca tramite studi teorici e sperimentali.

O.7 Sviluppo di tecniche di additive manufacturing avanzato, che abilitino paradigmi di deposizione/inclusione di materiali eterogenei (Shape Deposition Manufacturing), quali ad esempio nanocompositi di nuova generazione provvisti di funzioni di sensing, attuazione e alimentazione embedded.

- Integrazione di sensori innovativi nei sistemi meccanici
- Trasduttori impiantabili
- Tute soft e giunti elastici
- Dispositivi di presa elettroadesivi tramite dielettrici a film sottile
- Sensori FBG in composti di carbonio per il monitoraggio infrastrutturale

Integrazione di sensori innovativi nei sistemi meccanici

In questa attività di ricerca viene studiato come integrare sensori innovativi come le fibre ottiche all'interno delle strutture funzionali meccaniche. Lo studio al momento include la modellazione meccanica, lo studio del posizionamento ottimale, l'analisi FEM delle deformazioni sotto carico e le tecnologie di Additive Manufacturing per la costruzione del sistema.

Trasduttori impiantabili

In questa linea di ricerca si studia lo sviluppo di trasduttori impiantabili, indossabili e portabili nella forma di mecano-trasduttori che possono essere ottenuti tramite processi di deposizione chimico-fisici ed integrati in sistemi multimateriale come polimeri morbidi. Tali tecnologie sono basate sulla integrazione di sensori tattili con *nanorods* di ossido di zinco e la produzione di componenti microfabbricati tramite stampa 3D e bio-stampa. Lo studio di tali sistemi ha richiesto l'uso di strumenti particolari come AFM, SEM e SPM disponibili presso il Dipartimento e collaborazioni scientifiche. Le applicazioni spaziano dalla biomeccanica, al monitoraggio cardiorespiratorio, allo sport ed ogni tipo di interfaccia indossabile.

Tute soft e giunti elastici

In questa linea di ricerca vengono studiate le tute soft come soluzione promettente per migliorare le capacità umane in diversi campi applicativi. Questa ricerca integra sistemi a cavi dentro dispositivi indossabili soft per l'assistenza al movimento dell'arto superiore. La flessibilità della struttura e la sua cedevolezza consentono una distribuzione ottimale del trasferimento di coppia dai meccanismi di attuazione remoti alle articolazioni. In questo ambito vengono inoltre sviluppati nuovi sistemi di attuazione visco-elastici idonei ad essere integrati nelle tute e negli esoscheletri. Tali parti hanno componenti in materiali ibridi come molle al silicone affiancate a parti meccaniche classiche.

Dispositivi di presa elettroadesivi tramite dielettrici a film sottile

In questa linea di ricerca vengono sviluppati nuovi dispositivi elettro adesivi per l'afferraggio di componenti nella manipolazione robotica. Le forze di presa vengono generate tramite l'attrazione elettrostatica che intercorre tra conduttori diversi e la carica indotta sulla superficie dell'oggetto da manipolare, in combinazione con gli attriti meccanici che si generano. Obiettivo della ricerca è la progettazione di nuovi dispositivi ed il test su nuovi materiali e procedure di produzione per il raggiungimento di dispositivi da impiegare nella industria dell'automazione che siano affidabili e prestazionali.

Sensori di Fiber Bragg Grating in composti di carbonio per il monitoraggio infrastrutturale

Tramite le tecnologie di scrittura della rete in fibre ottiche di polyammide risulta possibile scrivere fibre ottiche incorporate dentro strutture in carbonio composito. Tali sensori possono essere interrogati con laser NIR e la loro risposta usata per modellare variazioni di stress termico e meccanico. Il dipartimento sta attualmente studiando l'implementazione di tale tecnologia per il monitoraggio delle infrastrutture e per applicazioni nei trasporti e nell'aerospazio.

O.8 Sviluppo di sensori all'interno di parti metalliche, plastiche o composite (es. sensori in fibra ottica a reticolo di Bragg - FBG) per la costruzione di una nuova generazione di "robotics materials".

- Integrazione di FBG nella robotica
- Interrogatori FBG integrati
- Incapsulamento di magneti per interfacce miocinetiche

Integrazione di FBG nella robotica

Diversi processi industriali mirano alla produzione continua di piccoli volumi orientati alle esigenze del cliente. Le macchine ed i robot devono per questo motivo diventare sempre più adattabili e flessibili per coprire diversi scenari. L'adozione di sensori in fibra ottica consente di superare alcune limitazioni intrinseche dei sensori attualmente utilizzati in termini di sensibilità alla temperatura, immunità ai disturbi EM, isteresi ed altri. In questa linea di ricerca viene studiato come i sensori FBG possano integrarsi nelle strutture robotiche di nuova generazione per ottenere robot e componenti meccaniche di prestazioni superiori. Lo studio è sia teorico che sperimentale grazie alle risorse messe in piedi con le infrastrutture del Dipartimento.

Interrogatori FBG integrati

Questa linea di ricerca mira a produrre interrogatori FBG ad alta velocità sufficientemente compatti per essere integrati all'interno di dispositivi di produzione industriale e robot. A tal fine il Dipartimento si è dotato di stimolatori ottici ed analizzatori di segnale per misurare la qualità dei sistemi prodotti in diverse condizioni di latenza, fase e lunghezza d'onda. Gli interrogatori prodotti saranno basati sul metodo isolamento su silicio e risonatori a micro anello.

Incapsulamento di magneti per interfacce miocinetiche

In questa linea di ricerca il Dipartimento studia come rendere sicuro l'incapsulamento di magneti in film protettivi per l'impianto sicuro di protesi miocinetiche ed il controllo di articolazioni con assistenza mecatronica. Attualmente tale impianto è reso difficoltoso dalla compatibilità dei magneti basati su NdFeB. La linea di ricerca studia come incapsulare tali componenti tramite coating in maniera che la capsula sia non tossica e resistente alla corrosione organica.