

Microrobot, rivoluzione a tutto campo

Giorgio Fusari

Dagli sciame di automi che trasformano la produzione di materiali e prodotti, ai dispositivi in grado di navigare nei vasi sanguigni, per applicazioni in medicina e chirurgia

Possono essere sistemi miniaturizzati di pochi centimetri, oggetti con dimensioni nell'ordine dei micrometri, o dei nanometri, ma in tutti i casi oggi i microrobot rappresentano un'evoluzione decisamente importante per il più ampio mondo della robotica e dei sistemi embedded. Le tecniche, i processi per la loro ingegnerizzazione – ad esempio le tecniche di microfabbricazione – stanno facendo notevoli progressi, e promettono lo sviluppo di sistemi con la potenzialità di trasformare radicalmente i tradizionali sistemi di produzione di materiali e prodotti, o le classiche metodologie chirurgiche e farmacologiche. Ma i vantaggi che sono in grado di portare si estendono in una molteplicità di altri settori.

Le sfide, scientifiche e ingegneristiche, certo non mancano. Nel caso della realizzazione di microrobot con dimensioni micrometriche, o addirittura nanometriche (ad esempio i 'bacteriobot' basati sulla realizzazione di batteri 'artificiali', geneticamente modificati), in grado di 'nuotare' e spostarsi nei fluidi biologici, occorre anche fare i conti con le leggi della microfluidica (basso numero di Reynolds, con effetti inerziali irrilevanti; forze di van der Waals, forze elettrostatiche, interazioni chimiche e così via). I microrobot di questi ordini di grandezza hanno infatti la particolarità di muoversi in ambienti fluidi sostanzialmente privi di inerzia, dove a predominare è l'attrito viscoso, a differenza dei classici comportamenti fisici dei robot convenzionali, costruiti su macroscale. Un'altra ardua sfida tecnologica deriva dall'opportunità di configurare e coordinare i microrobot per farli operare insieme, in parallelo, sotto forma di 'sciame' o gruppi: l'obiettivo è arrivare a fornire funzionalità più evolute, ed eseguire operazioni fino a poco tempo fa considerate impraticabili, per raggiungere ritmi di lavoro e velocità che puntano a rivoluzionare gli odierni standard di produttività nel mondo del manufacturing. I compiti che uno sciame di microrobot può svolgere sono davvero svariati: non solo assemblaggio di materiali e costruzione di oggetti, ma anche applicazioni



Fig. 1 – Un fotogramma video di SRI International mostra il funzionamento di uno sciame di microrobot

che possono spaziare dal monitoraggio ambientale, alle operazioni di ricerca e recupero; alle terapie medicali in vivo, come la somministrazione di farmaci nel corpo del paziente o le tecniche di micromanipolazione.

Le attività di ricerca e sviluppo sugli sciame di microrobot sono in corso da anni. Un esempio è il [progetto I-SWARM](#) (Intelligent Small World Autonomous Robots for Micro-manipulation), finanziato dalla Commissione europea e concluso nel 2007, con la partecipazione di importanti università del Vecchio continente, fra cui, per il nostro Paese, la Scuola Superiore Sant'Anna. Tale progetto ha avuto l'obiettivo di studiare il comportamento degli sciame di formiche, per poi arrivare a simularne l'operatività, tramite la creazione di piccoli gruppi di microrobot in grado di eseguire alcune funzioni a livello di percezione, manipolazione e capacità di cooperazione. Un progetto che ha richiesto il lavoro congiunto di esperti di diverse discipline: dallo studio dell'intelligenza ar-

tificiale e collettiva, allo sviluppo degli algoritmi di cooperazione, agli aspetti ingegneristici legati ai sistemi di comunicazione e alimentazione; agli attuatori, ai sensori, agli ASIC, al packaging, all'integrazione, alla produzione di massa dei microrobot.

Microfabbriche intelligenti

Quando il robot miniaturizzato raggiunge dimensioni molto piccole, un problema è studiare soluzioni adatte per realizzare il sistema di alimentazione e propulsione, specie quando l'obiettivo è sviluppare sistemi 'untethered', ossia indipendenti da fili o cavi esterni di alimentazione e controllo, e quindi liberi di muoversi autonomamente. Il centro di ricerca e innovazione indipendente [SRI International](#) – quartier generale nella Silicon Valley – sta ad esempio sviluppando una nuova tecnologia per controllare in modo affidabile migliaia di microrobot, da coordinare per la produzione intelligente ed evoluta di vari tipi di materiali e prodotti in macro-scala, attraverso sistemi compatti e integrati.

Per comprendere subito cosa ciò significhi, si immagini di essere in grado di imbrigliare la potenza di un esercito di operose formiche per assemblare prodotti su larga scala rapidamente e in maniera precisa, partendo dall'impiego di materiali eterogenei e dagli attuali ambienti di produzione.

La tecnologia brevettata da SRI si chiama DM3 (diamagnetic micro manipulation), viene illustrata in un video, e usa schede PCB (printed circuit board) come mezzo di guida e controllo di microrobot costruiti sulla base di semplici magneti a basso costo, che sono movimentati tramite energia elettromagnetica. In questo modo è possibile evitare di dover progettare un sistema di alimentazione e locomozione integrato direttamente nel microrobot. Ma non solo: il sistema elettromagnetico fornisce la possibilità di produrre in maniera efficace sotto il profilo economico grandi numeri di microrobot in grado di gestire con affidabilità un'ampia varietà di materiali, solidi e liquidi, inclusi i componenti elettronici. SRI sta applicando la propria tecnologia di microfabbrica al progetto dell'agenzia DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency), denominato [DARPA Open Manufacturing Program](#), e finalizzato a ridurre le barriere che ancora ostacolano la fabbricazione economica di bassi volumi di sistemi a elevato valore.

I microrobot di SRI saranno utilizzati per costruire strutture intelligenti con meccaniche ad alte prestazioni. L'idea è realizzare teste di assemblaggio costituite da migliaia di microrobot, per costruire prodotti in macroscala di alta qualità, fornendo un controllo strutturale su scala millimetrica. Uno scenario possibile potrebbe essere, ad esempio, quello in cui alcuni microrobot trasportano componenti elettronici o meccanici, mentre altri depositano liquidi, e altri ancora

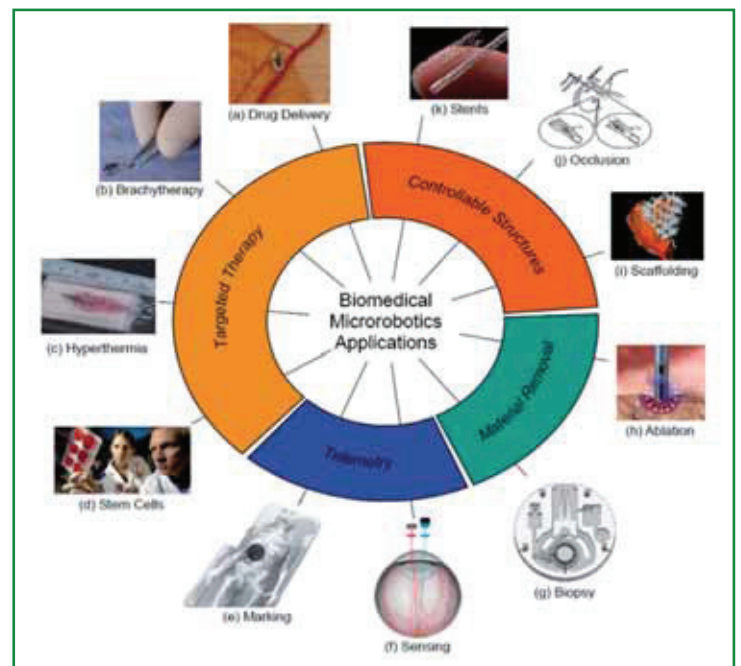


Fig. 2 – Alcune applicazioni di microrobotica biomedicale

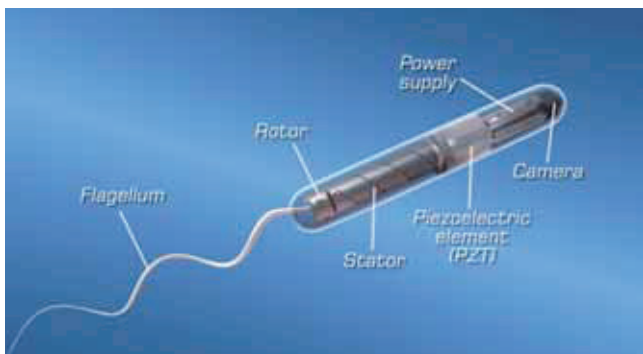
eseguono analisi di qualità in loco. Montata su una base robotica mobile, secondo SRI, una microfabbrica di questo genere diventerebbe in grado di costruire parti di qualunque dimensione.

La tecnologia DM3 è anche stata messa a disposizione come piattaforma di ricerca per università e ricercatori interessati a esplorare nuove applicazioni per microrobot, in cui la microautomazione e il trattamento affidabile di materiali compositi eterogenei con manipolazione a livello di microscala si rivelano critici.

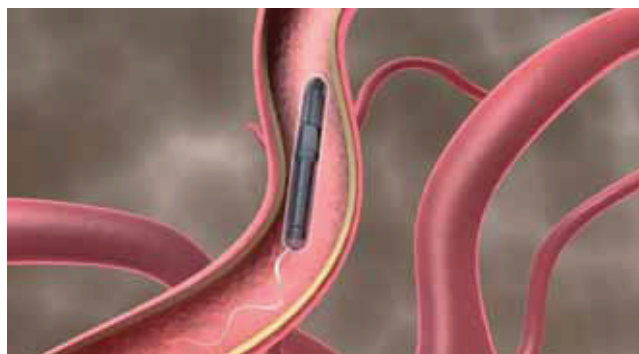
Alcune potenziali applicazioni prospettate da SRI sono, ad esempio, la realizzazione di soluzioni di fabbricazione 'pick-and-place'; i sistemi di prototipazione rapida (si pensi ad esempio al tempo oggi impiegato da un progettista per assemblare il prototipo di un sistema elettronico manualmente); la fabbricazione di componenti elettronici complessi e ibridi, come i circuiti optoelettronici; gli utilizzi in campo militare e spaziale, per la costruzione di elettronica non silicon-based; l'adozione nelle biotecnologie, in applicazioni di microfluidica (lab-on-chip) e fabbricazione di tessuti; ma anche tutta una varietà di applicazioni di microautomazione, esterne rispetto al mondo del manufacturing, come le attrezzature compatte di diagnostica e ispezione, e i dispositivi anti-sporcamento (anti-fouling), che mantengono pulite le superfici ad esempio dai depositi di particolato. Insomma, vi è una miriade di utilizzazioni possibili, senza contare che poi i microrobot sono riprogrammabili per svolgere compiti sempre nuovi e diversi.

Robot minimamente invasivi

In medicina e chirurgia, l'adozione di robot e microrobot nelle diverse attività sta assumendo un ruolo crescente.



Figg. 3-4 – La struttura e le modalità d'impiego del microrobot Proteus



Stando a un rapporto della società di ricerche di mercato [GIA](#) (Global Industry Analysts), il comparto globale dei sistemi CAS (computer assisted surgical), ossia le attrezzature di chirurgia computer assistita, nel 2020 dovrebbe raggiungere i 4,5 miliardi di dollari, guidato sia dalla loro migliorata affidabilità, sia dall'incremento del numero di procedure MIS (minimally invasive surgical) eseguite a livello mondiale. Se gli Stati Uniti risultano il mercato più grande per i sistemi CAS, l'area Asia-Pacifico è quella per cui si prevede la più rapida crescita, con un CAGR del 17% nel periodo analizzato. Parlando nello specifico delle tecnologie, all'interno del comparto dei sistemi CAS, sono proprio i robot chirurgici i dispositivi che rappresentano nel mercato la categoria di prodotti più grande e in più rapida espansione, grazie anche alla crescente fiducia degli utenti nella precisione di tali attrezzature.

I microrobot submillimetrici possono essere pilotati per navigare nei vasi sanguigni, fino a raggiungere punti difficili da raggiungere con le tecniche convenzionali: ad esempio, i coaguli di sangue formati nel cervello dei pazienti, che attraverso tali microrobot si possono eliminare in maniera molto meno invasiva rispetto all'uso dei tradizionali cateteri, aumentando la percentuale di successo degli interventi.

Quando si tratta di realizzare microrobot chirurgici molto miniaturizzati per procedure MIS, le sfide tecnologiche e ingegneristiche diventano ancora più complesse, rispetto ai manipolatori e microrobot ideati per usi industriali. In medicina e chirurgia, il robot deve essere progettato in maniera compatibile con i requisiti del corpo umano, e ridotto a dimensioni tali da arrecare il minor fastidio possibile al paziente. Occorre dotarlo di sistemi di locomozione adeguati, e controllarlo in modalità remota e wireless.

In generale, i processi di miniaturizzazione dei robot hanno potuto avvalersi dei progressi compiuti nelle tecniche di microfabbricazione, e trarre benefici dalla diffusione di dispositivi come i MEMS (micro electro-mechanical systems), senza contare i vantaggi di riduzione dei costi che possono

derivare dall'applicazione di tecnologie di produzione come la stampa 3D.

A livello di funzionalità, le prossime generazioni di microrobot possiederanno la capacità di raggiungere con sempre maggiore precisione una zona di tessuto colpita da una patologia, per eseguire svariate tipologie di operazioni. Ad esempio per rilasciare farmaci in maniera molto mirata, in modo da ridurre gli effetti collaterali dei medicinali sul paziente, e aumentare la possibilità di successo dei vari trattamenti. Le ridotte dimensioni di questo tipo di microrobot medicali non consentono l'integrazione di batterie o motori in senso tradizionale. Inoltre, a questi ordini di grandezza, come si accennava all'inizio, il moto nei fluidi è influenzato da una varietà di forze (interazioni, chimiche, forze di van der Waals, forze di attrito viscoso e così via) di cui occorre tenere conto nella progettazione del sistema di propulsione. Per questa ragione, qui le soluzioni ingegneristiche devono avvalersi del contributo di altre discipline: dalla fisica, alla chimica, alla biorobotica, alla robotica biomimetica (biomimicry). Quest'ultima indirizza l'attività di progettazione ispirandosi ai principi di funzionamento dei sistemi biologici. Ad esempio le soluzioni di propulsione possono essere realizzate imitando i modelli di locomozione delle cellule, come le cilia di un paramecio, o i flagelli di un batterio. Per quanto riguarda i metodi di guida e controllo dei microrobot, le tecniche sono diverse. Si possono utilizzare, a seconda delle esigenze, gradienti di vario tipo, o i campi elettromagnetici e le radiofrequenze intrinsecamente disponibili, ad esempio, nelle apparecchiature MRI (magnetic resonance imaging), che possono agire stimolando microattuatori piezoelettrici. Un esempio può essere rappresentato da 'Proteus', un motore piezoelettrico per applicazioni MIS sviluppato qualche anno fa nel laboratorio di micro e nano fisica del dipartimento di meccanica e ingegneria aerospaziale della [Monash University](#), a Clayton, Australia. Per questo motore, con un diametro di 250 micrometri, è stata studiata una propulsione flagellare, simile a quella del batterio *Escherichia Coli*. ■