

BARBARA MAZZOLAI¹

Robot che crescono come piante

¹ Centro di Micro-BioRobotica, Istituto Italiano di Tecnologia

(Sintesi)

La biorobotica, nella sua accezione di robotica bioispirata, si pone come sfida quella di trarre ispirazione dalla Natura e dal mondo degli esseri viventi per fare innovazione e realizzare nuova tecnologia al servizio dell’Uomo. In particolare, l’obiettivo è quello di imitare le capacità di reazione e di adattamento degli organismi naturali ad ambienti che cambiano dinamicamente, non sono strutturati e quindi meno prevedibili. I robot ispirati a queste proprietà biologiche “nascono” per operare in contesti naturali, fuori dalle fabbriche, ad esempio in attività di monitoraggio dell’ambiente, in agricoltura, così come per l’esplorazione di nuovi pianeti o in azioni di salvataggio dopo un disastro. L’ambito medico è un altro settore di grande interesse per realizzare endoscopi e nano-robot minimamente invasivi.

In questo contesto, recentemente le piante sono state prese a modello per realizzare nuovi robot e tecnologie avanzate. Potrebbe sembrare alquanto inusuale pensare alle piante in questi termini, dal momento che fin dall’antichità questi esseri viventi sono stati considerati come creature inermi, non in grado di muoversi o percepire l’ambiente intorno a loro, e ritenute quasi esclusivamente valide come fonte di cibo per l’uomo e animali da allevamento.

Eppure, le piante sono diventate protagoniste di una nuova generazione di robot in grado di muoversi crescendo alle loro estremità per aggiunta di nuovo materiale e di percepire l’ambiente esterno, adattando la propria morfologia sulla base degli stimoli ambientali percepiti. L’obiettivo a lungo termine è quello di realizzare macchine progettate in maniera più sostenibile così che siano perfettamente integrate negli ecosistemi naturali, non solo da un punto di vista funzionale ma anche in termini energetici e dei materiali che le compongono, sempre più biodegradabili e a minore impatto ambientale. Oggi sappiamo che un utilizzo dissennato delle risorse naturali non è più sostenibile

sul lungo periodo e che tecnologie e fonti energetiche ecologiche, non inquinanti e rispettose dell'ambiente devono rappresentare una delle sfide chiave a livello mondiale per la società futura.

In questa prospettiva, le piante ci offrono nuove idee per affrontare queste sfide ambiziose, non più rimandabili. Ma quali sono le caratteristiche che le rendono così interessanti anche da un punto di vista artificiale?

Le piante si muovono sviluppando strategie diverse da quelle proprie del mondo animale, basate sulla contrazione muscolare. Il movimento attraverso la crescita è il processo che le contraddistingue rispetto agli animali, i quali possono crescere solo fino al raggiungimento della maturità, e poi smettono. Le piante invece crescono per tutta la vita creando forme straordinarie, in armonia con l'ambiente mutevole che le circonda. Le piante utilizzano le risorse disponibili nel loro habitat, consentendo al tempo stesso di ridurre al minimo lo spreco energetico. Partendo da queste caratteristiche, i ricercatori dell'Istituto Italiano di Tecnologia di Pontedera da anni stanno studiando le piante per progettare nuovi robot e materiali "soft". Proprio in questi laboratori è stato progettato il primo robot ispirato alle radici delle piante per l'esplorazione dei suoli, denominato *plantoide*.

Le radici crescono aggiungendo nuove cellule in una zona dell'apice radicale, ovvero la parte più distante dal fusto, che si chiama meristema. In quest'area le cellule si dividono e poi si allungano per assorbimento di acqua dall'ambiente esterno. Le cellule così si distendono producendo una spinta verso il basso, che consente il movimento nel suolo della sola parte apicale, con conseguente riduzione degli attriti e delle pressioni già elevati in pochi centimetri di profondità.

Partendo dallo studio di queste capacità delle radici, il robot *plantoide*, ad esse ispirato, è in grado di muoversi nel suolo costruendo il proprio corpo. Il processo consiste in una stampante 3D miniaturizzata all'interno dell'apice radicale robotico che consente la deposizione di strati successivi di un materiale termoplastico, imitando così la crescita naturale. Come nella radice naturale, la direzione di crescita è data dai sensori integrati nella punta per monitorare gradienti di acqua, o altre sostanze, seguire la gravità, evitare gli ostacoli. A ogni sensore è associato un movimento tipico delle piante, chiamato tropismo, ovvero la radice cresce verso o lontano da uno stimolo ambientale, a seconda che sia positivo o negativo per la pianta. Ad esempio si definisce «idrotropismo» la crescita in direzione di un gradiente di acqua, e «tigmotropismo» la capacità di una pianta di evitare un ostacolo. A differenza delle stampanti 3D commerciali, nel caso del *plantoide* le istruzioni per costruire la struttura tridimensionale provengono dal suo interno – ovvero dai

tropismi che si attivano in base alle informazioni raccolte dai sensori – e non da un computer esterno. Strato dopo strato, il robot crea il proprio corpo che penetra nel suolo alla ricerca di sostanze utili in agricoltura – ad esempio, acqua, azoto, o potassio – o nel monitoraggio ambientale. A seconda dei sensori integrati nella punta e dei tropismi ad essi associati, il robot può esplorare il sottosuolo e fornire dati ad un operatore umano, il quale potrà intervenire con aggiunta di acqua o di altre sostanze, solo quando e se necessario.

Esistono molti altri movimenti da studiare e imitare dal mondo vegetale per progettare macchine a minor consumo energetico. Tra questi, esistono i movimenti denominati “passivi” perché non necessitano di un metabolismo associato, ma dipendono dalla struttura dei materiali all’interno della parete cellulare delle cellule vegetali e dalla loro capacità di interagire con le variazioni di umidità e temperatura nell’aria. Ne sono alcuni esempi, i movimenti associati all’apertura e chiusura di una squama di un cono femminile di pino, detto pigna, o al seme di farro che penetra nel terreno. Si tratta di strutture morte che continuano a muoversi grazie all’interazione tra i materiali di cui sono composte e il tasso di umidità dell’aria. Il robot plantoide è formato da un tronco in materiale termoplastico dal quale si originano dei rami sui quali sono integrate foglie artificiali basate su materiali ispirati ai movimenti suddetti. Si tratta di polimeri plastici con diversa funzionalità, in quanto alcuni rispondono alle variazioni di umidità ambientale, e altri si attivano di conseguenza producendo un movimento. Questi materiali intelligenti funzionano da sensori e motori al tempo stesso e, proprio come quelli naturali, possono interagire con l’umidità dell’aria generando un movimento associato. Analogamente, le foglie del plantoide sono in grado di aprirsi e chiudersi in risposta al grado di umidità ambientale. Questi movimenti sono peculiari perché non si basano sulla contrazione di muscoli, ma piuttosto “sfruttano” l’energia disponibile nell’ambiente – sotto forma ad esempio di umidità o di luce – per svolgere un’azione, riducendo il dispendio energetico.

Dal tronco del plantoide, verso il basso, si diramano cinque radici con i loro apici sensorizzati in grado di muoversi crescendo nel suolo e seguendo gradienti di sostanze di interesse. Ecco che guardando questo robot si intuisce immediatamente la sua derivazione vegetale e i principi di funzionamento che abbiamo “tradotto” dal naturale al mondo artificiale.

Un altro modello “verde” attualmente studiato all’IIT per fare innovazione nel mondo ingegneristico è rappresentato dalle piante rampicanti. L’obiettivo è tradurre le caratteristiche di queste piante in robot che si muovono crescendo e utilizzando supporti esterni, quali pali o altre piante, per esplora-

re l'ambiente circostante, proprio come la controparte biologica. Come per i plantoidi, anche per la realizzazione di questi nuovi robot ispirati alle piante rampicanti, che chiamiamo *GrowBot*, lo studio si basa sull'analisi dei principi alla base dei movimenti e dei comportamenti di queste piante. Il primo sistema artificiale che abbiamo sviluppato ha la forma di un viticcio e, in particolare, imita la specie *Passiflora caerulea*, una pianta rampicante sempreverde, detta anche fiore della passione. Il viticcio artificiale è formato da un corpo soffice a forma cilindrica, in grado di avvolgersi intorno a un supporto e poi ritornare alla sua configurazione iniziale. Il sistema si muove grazie alla presenza di un attuatore osmotico integrato nella struttura e al flusso di acqua generato al suo interno. Le piante si avvantaggiano dei meccanismi fisici dell'osmosi con risultati sbalorditivi. Nelle cellule vegetali esiste la parete cellulare, assente nelle cellule animali, che costituisce il rivestimento esterno della cellula e rappresenta una sorta di involucro, relativamente rigido, formato essenzialmente da cellulosa; la sua particolare robustezza protegge e sostiene la cellula vegetale. Al di sotto e in contatto con essa attraverso dei canali c'è la membrana cellulare, o plasmalemma, che funziona da filtro selettivo: lascia passare l'acqua e solo alcune sostanze selezionate presenti nel citoplasma cellulare. L'acqua svolge un ruolo fondamentale perché la sua presenza o assenza regola il turgore interno della cellula. Un flusso di acqua infatti si genera tra una zona a minore ad una a maggiore concentrazione ionica. Le piante sono in grado di regolare il contenuto d'acqua all'interno dei loro tessuti, coordinando così il rigonfiamento/sgonfiamento delle cellule fino a ottenere un movimento (se libere di muoversi) e/o una forza (se confinate). Proprio ad esso è ispirato l'attuatore osmotico che abbiamo sviluppato e che muove anche il viticcio artificiale.

Le applicazioni dei *GrowBot* andranno dall'archeologia, all'esplorazione di ambienti angusti, fino al salvataggio.

In un futuro, magari non troppo lontano, i robot ispirati alle piante saranno macchine dotate di una propria forma di intelligenza ispirata alle capacità di adattamento ed esplorazione delle affascinanti creature verdi che da milioni di anni ci circondano in silenzio, e dalle quali dipende la nostra vita. Robot-plantoidi, dotati di telecamere e sensori, potrebbero muoversi in aree potenzialmente pericolose per l'uomo senza mai perdere il contatto con un operatore, che potrebbe seguirne i movimenti da remoto.

Ma questi robot saranno sempre più strumenti di studio nelle mani degli scienziati e studiosi delle piante, utili per validare alcune ipotesi sul funzionamento di questi esseri viventi, più difficili da dimostrare direttamente sul modello biologico, come la loro interazione con il mondo esterno e come la

fisica di un determinato ambiente influisca sulle strategie di adattamento e sui cambiamenti morfologici.

La robotica, nuovi sensori microfabbricati e l'intelligenza artificiale per l'analisi di dati complessi e molteplici, rappresenteranno in un futuro non lontano gli strumenti per determinare la presenza di sostanze inquinanti o ridurre l'abuso di fertilizzanti o erbicidi, che in eccesso vanno a contaminare falde acquifere e terreni per uso agricolo. L'uso ponderato di queste sostanze, sulla base dei dati forniti da macchine sensorizzate, avrebbe un impatto immediato nella riduzione dell'inquinamento e del dispendio di risorse, sempre più limitate, come l'acqua.

Una maggiore conoscenza dell'ambiente che ci circonda si tradurrebbe anche in una riduzione immediata dei costi associati alla produzione e in una maggiore conoscenza delle caratteristiche del sito produttivo.

Ci attende, quindi, un mondo in cui le piante saranno sempre più ispiratrici di macchine dotate di capacità percettive e di controllo distribuite, movimenti tramite la crescita e potere decisionale che si esprime senza un cervello, aspetti fondanti di questa nuova robotica adattativa.

