

L'UOMO CIBERNETICO E IL ROBOT UMANOIDE

La robotica trova sempre più strette connessioni con discipline nate in contesti culturali assai distanti, quali la neurofisiologia e la psicologia cognitiva e può diventarne un motore di sviluppo

NICOLA PACILIO, SANDRO TAGLIENTI¹

ENEA,

Il concetto di robot è in continua, rapida evoluzione

La prima generazione di robot, protagonista del prorompente sviluppo industriale verificatosi negli anni cinquanta e sessanta, era costituita da macchine in grado di svolgere a comando una sequenza prefissata di azioni, non modificabile in alcun modo. Si trattava di sistemi, progettati in funzione dell'unico, specifico compito da svolgere, il cui ciclo di vita si concludeva insieme a quello del prodotto che erano dedicati a realizzare. Un primo esempio, remotissimo nel tempo, di dispositivi di questa classe è costituito dalla macchina che Erone inventò nel primo secolo dopo Cristo per aprire le porte del tempio (figura 1).

Con l'introduzione di macchine a programma variabile si compie un passo significativo nella automazio-

ne dei processi di produzione. Tali sistemi sono in grado di svolgere compiti differenti in ragione della sequenza di azioni elementari, in altri termini del programma, che viene mandata in esecuzione. Con ciò si introducono elementi di flessibilità nella pianificazione della produzione che si ripercuotono direttamente sulla competitività dell'impresa. Attraverso un unico processo è possibile infatti produrre mix variabili di prodotti, assecondando quindi la variabilità della domanda.

Chi ha visto all'opera un telaio Jacquard (figura 2), pilotato dagli enormi cartoni perforati contenenti il "programma", non può non ricollegarlo, almeno sul piano puramente concettuale, a questa classe di macchine.

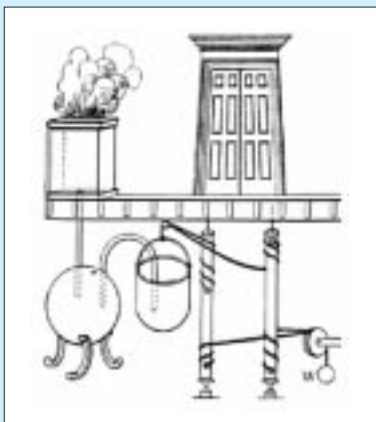
Una caratteristica richiesta in maniera crescente alle macchine è la capacità di adattamento alle variazioni di parametri di processo dovute al-

l'ambiente esterno, anche per effetto del processo stesso. Questo tipo di flessibilità è riconducibile alla presenza di un sistema sensoriale ed alla capacità di modificare le sequenze operative coerentemente con i segnali da questo rilevati. A questo principio, in fondo, si ispiravano il binatoio di Leonardo, dispositivo per la filatura della seta dotato della capacità di interrompersi in caso di rottura del filo (figura 3), e il parallelogramma di Watt (figura 4) in grado di regolare la velocità della macchina a vapore attraverso il controllo del flusso di vapore nel cilindro.

È proprio grazie agli sviluppi tecnologici relativi ai sistemi sensoriali per la robotica che si sono potuti concretamente applicare i criteri di produzione di qualità alla base dei prodotti dell'industria manifatturiera avanzata. Inoltre tali sviluppi consentono di aggredire nuovi settori

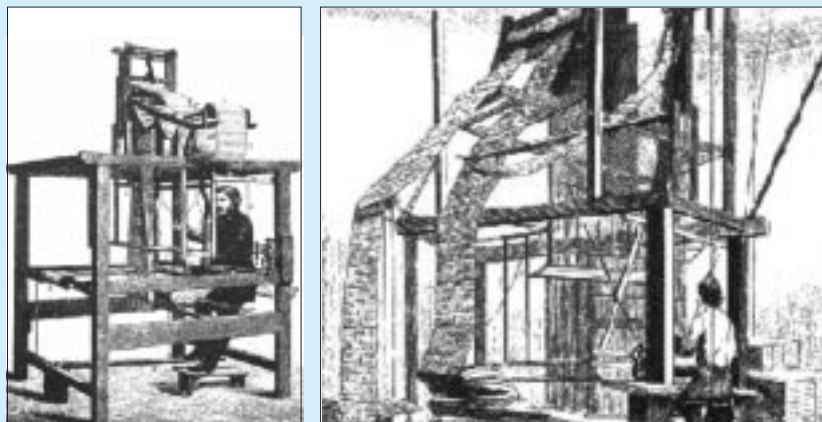
¹ Gli autori del presente lavoro appartengono al gruppo di ricerca ENEA impegnato nello sviluppo di robot di nuova generazione. Per la raccolta del materiale, la relativa sistematizzazione, la ricostruzione della teoria e l'esposizione in forma divulgativa, hanno effettuato un'operazione di sdoppiamento, collocandosi in una posizione di osservatori esterni del gruppo, e quindi di sé stessi. Ciò ha, tra l'altro, comportato un effetto indubbiamente positivo in termini di omogeneizzazione del lessico all'interno del gruppo e quindi di accelerazione dei processi speculativi. Questo articolo riassume l'attività del gruppo di lavoro guidato da Antonio Botticelli negli ultimi quindici anni e si propone come precursore di una serie di comunicazioni più dettagliate riguardanti sia gli studi teorici nelle discipline afferenti la robotica sia i risultati concreti ottenuti in ambito di trasferimento tecnologico.

Figura 1 – La macchina di Erone



caratterizzati da un più basso grado di strutturazione dell'ambiente operativo. Si vuole qui far riferimento alle applicazioni di servizio della robotica, quali ad esempio la sorveglianza, l'ispezione, le pulizie, che lasciano intravedere interessantissime prospettive di mercato. Il gradino più alto nella scala dell'evoluzione dei robot è costituito dalle

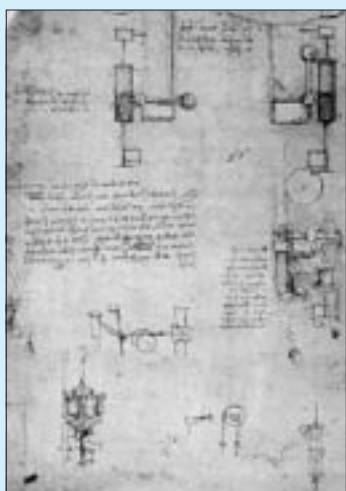
Figura 2 – Telai Jacquard



macchine autonome, in grado cioè di svolgere compiti complessi sulla base di comandi di alto livello, amministrando le proprie risorse e le proprie capacità operative in maniera adeguata alla missione da compiere ed alla situazione esterna. Il mondo della meccanica strumentale e dei sistemi di produzione può trarre grande beneficio dalla diffu-

sione di questa classe di robot, soprattutto in termini di ripensamento complessivo dei processi produttivi. Basti pensare all'attuale modello di shop floor basato essenzialmente su celle di lavorazione a 3 – 5 gradi di libertà ed alle possibilità offerte da complessi sistemi multiutensile e multioperazione in grado di definire autonomamente sequenze e para-

Figura 3 – (a) Il progetto di Leonardo, (b) un modello

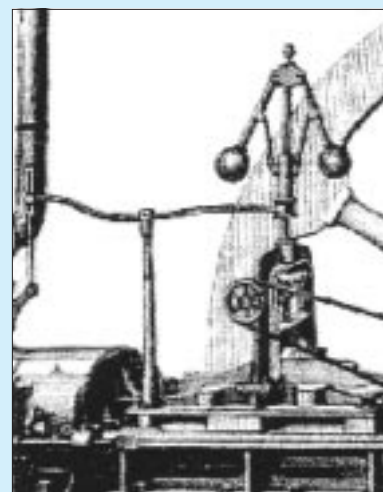


a



b

Figura 4 – Il parallelogramma di Watt



metri produttivi. L'oggetto da produrre torna al centro della fabbrica e intorno a questo lavora l'artigiano mecatronico, richiamando gli strumenti e le abilità necessarie in ogni fase e programmandone la sequenza d'uso.

Ancora più interessanti sono le implicazioni prevedibili nel campo della robotica autonoma, sia per l'enorme crescita dei settori in cui è possibile realizzare applicazioni, sia per l'effetto della prevedibile riduzione dei costi indotta dalla via via più diffusa offerta di commodities off the shelf.

Il genio del grande Omero ci offre nel XVIII libro dell'Iliade un esempio efficace e suggestivo di tale classe di sistemi, nel descrivere la fabbricazione delle armi per Achille da parte di Vulcano:

*... ai mantici tornò, li volse al fuoco,
e comandò suo moto a ciascheduno.
Eran venti che dentro la fornace
per venti bocche ne venian soffiando,
e al fiato, che mettean dal cavo seno,
or gagliardo or leggiere, come il
bisogno
chiedea dell'opra e di Vulcano il
senno,
sibilando prendea spirto la fiamma.*

I risultati finora conseguiti sono stati, senza alcun dubbio, possibili per gli straordinari progressi nella microelettronica e nelle tecnologie dell'informazione.

È tuttavia agli studi ed alle ricerche nell'intelligenza artificiale e nelle scienze cognitive che guardiamo con attenzione per una nuova stagione di grandi sviluppi nella robotica.

Gli approfondimenti in tali discipline hanno dimostrato di poter fornir-

re stimoli di estremo interesse per la definizione di modelli di comprensione, apprendimento, volontà applicabili a robot.

Al tempo stesso, l'interiorizzazione dei meccanismi di gestione dei dati dell'apparato sensoriale umano e di invio dei comandi, di moto o più in generale di azione, fornisce contributi utilissimi alla realizzazione di protesi umane evolute, in particolare sensoriali e motorie.

Un modello di intelligenza del robot

Assistiamo oggi ad una disputa tra i sostenitori dell'equivalenza formale tra cervello e macchina di Turing, da una parte, e fautori delle teorie connessionistiche, dall'altra.

Per i primi il pensiero è una sorta di programma eseguito dal nostro cervello, secondo un processo in linea di principio facilmente replicabile da un computer. Il nostro cervello, quando svolge funzioni che presidiano la percezione ed il ragionamento, opererebbe, in fondo, in maniera analoga ad un normale PC, quando esegue il software di sistema ed i programmi applicativi, a di-

spetto delle profonde differenze esistenti tra la struttura biologica e l'elaboratore elettronico. A questo proposito può essere citato il test di Turing che, in maniera sommaria, propone di interrogare il sistema sotto analisi attraverso un terminale. Lo studioso inglese sostiene che il test si può ritenere superato quando l'interrogante non è in grado di distinguere se l'inquisito è un elaboratore o un essere umano.

I secondi sostengono che solo facendo riferimento a modelli reticolari complessi, basati su un gran numero di entità discrete connesse tra loro, è possibile indurre in una macchina comportamenti definibili intelligenti. La mancanza di semantica dei sistemi formali, secondo costoro, pone limiti insuperabili agli sviluppi nel campo dell'intelligenza delle macchine.

I termini della polemica tra le due scuole di pensiero sono sintetizzati dal Searle nel suo gioco della stanza cinese, che con un simpatico paradosso ripropone i limiti dell'elaborazione simbolica.

I recenti risultati delle ricerche nel campo della neurofisiologia, che hanno svelato caratteristiche e mo-

La stanza cinese

In una stanza si trovano un'infinità di piccole scatole contenenti foglietti di carta su cui sono disegnati tutti i possibili ideogrammi della scrittura cinese. Nella stanza c'è una persona che non conosce il cinese. Per lei questi simboli non hanno alcun significato. Immaginiamo che le venga fornito un manuale in italiano che contiene istruzioni del tipo: se ricevi il simbolo (domanda) che ha la stessa forma di quello nella scatola X, allora restituisci il simbolo (risposta) nella scatola Y. Anche senza capire nulla di cinese il soggetto potrebbe eseguire queste istruzioni, basandosi esclusivamente sulle regole prefissate. Un cinese all'esterno della stanza formula delle domande e riceve delle risposte che, rispettando le procedure contenute nel manuale, sono corrette e sensate. È pertanto convinto di dialogare con qualcuno che conosce perfettamente il cinese, anche se in realtà la persona dentro la stanza non sa una parola di quella lingua! La mente non è un programma.



Fig. 5

Molti sostengono che il cervello umano sia l'oggetto più complesso dell'universo. Al microscopio, l'insignificante massa gelatinosa rivela un groviglio tortuoso di cellule (neuroni) collegate tra loro tramite migliaia di giunzioni, le sinapsi. In un volume di circa 1200 cm³, il cervello umano contiene, approssimativamente, 100 miliardi di cellule nervose (neuroni). Si stima che una porzione qualsiasi della regione corticale umana contenga circa 600 milioni di sinapsi per mm³.

dalità di funzionamento del cervello umano e descritto i processi che all'interno di questo presiedono la percezione, la comprensione, l'agire riflesso e quello volontario, hanno fornito interessanti spunti ai fautori del connessionismo, profondamente convinti che la capacità di attuare comportamenti intelligenti sia fortemente dipendente dalla struttura fisica dell'organo a ciò preposto.

Anche all'ENEA, nel definire un modello di intelligenza in grado di supportare applicazioni sempre più avanzate della robotica, essenzialmente per quanto attiene l'autonomia e la flessibilità, si è tenuto conto di quanto questi sviluppi rendono disponibile, senza peraltro prendere posizione in merito alle teorie nel campo della neurofisiologia, attualmente oggetto di vivaci dibattiti tra correnti di pensiero contrapposte.

Il modello che viene di seguito sommariamente descritto va quindi inteso come la struttura possibile (in quanto realizzabile) ed efficace (in grado cioè di svolgere funzioni tipi-

che di intelligenze evolute) dell'intelligenza di un robot. Le scelte architettoniche sono fondate su criteri di funzionalità, prestazioni e potenzialità di sviluppo, e certamente non sulla presenza di elementi di somiglianza con strutture biologiche. L'esistenza di evidenti analogie con strutture e meccanismi propri dell'uomo apre altresì interessanti prospettive per la soluzione di problemi della disabilità umana.

Il riferimento storico più immediato viene dalle teorie della psicologia cognitiva ed in particolare dal libro *The nature of explanation* scritto nel 1943 da Kenneth Craik. Questi, in polemica con i fondamenti del comportamentismo vigenti all'epoca, sostiene che convinzioni, finalità e passi di ragionamento costituiscono valide componenti di una teoria del comportamento umano analogamente alle macrovariabili di stato, pressione e temperatura, nello studio dei gas, a dispetto del fatto che le molecole costituenti il gas non siano descrivibili da queste grandez-

ze fisiche. Craik sostiene che un agente intelligente opera nei seguenti tre passi conoscitivi:

- lo stimolo deve essere tradotto in una rappresentazione interiore;
- la rappresentazione è elaborata da processi conoscitivi al fine di derivare nuove rappresentazioni interiori;
- queste ultime sono, a loro volta, ritradotte in azioni.

La memoria

La memoria è l'elemento centrale dell'organo preposto all'intelligenza. In essa risiedono i due fondamentali tipi di informazioni, il sapere (i dati) e il saper fare (le sequenze costituenti i processi), senza alcuna distinzione tra loro. La struttura della memoria è distribuita. Ciò vuol dire che una informazione complessa non ha una allocazione puntiforme, ma ha una rappresentazione fisica assimilabile ad una rete, che mette in collegamento numerosi nodi, ognuno dei quali, a sua volta, è partecipe di altre reti, associate a differenti informazioni complesse. Ogni nodo contiene un quanto di informazione.

Tipicamente in una macchina i quanti di informazione sono definiti e disponibili a priori, e dipendono dalla sua struttura fisica. Si tratta dell'informazione necessaria allo svolgimento delle funzioni elementari (acquisizione dei segnali di stato, elaborazioni, gestione dei singoli gradi di libertà).

Al momento della sua nascita la macchina non è in una condizione di tabula rasa, ma piuttosto in uno stato di rete solo parzialmente con-

nessa. Le connessioni iniziali garantiscono le funzionalità più comuni richieste alla macchina.

L'interconnessione tra i nodi si sviluppa nell'arco della vita dell'individuo meccatronico, creando strutture stabili in numero crescente, così da configurare un vero e proprio processo di apprendimento. Se pensiamo ad un processo di questo tipo per una macchina utensile intelligente, possiamo prendere come riferimento il lavoro dell'artigiano. Questo, quando è ancora inesperto, ha solo cognizioni generali sull'uso dei singoli strumenti. Per individuare modalità e sequenze ottimali di impiego degli utensili per i diversi tipi di lavori, all'inizio procede per tentativi, avvalendosi anche dell'immaginazione; quando poi ha trova-

to soluzioni di processo soddisfacenti, fissa in memoria l'intera procedura che da quel momento è applicabile a casi analoghi.

Con l'esperienza le connessioni tra i nodi contenenti i quanti di informazione sulle fasi elementari del processo tendono a ramificarsi ed a diventare stabili, non dissimilmente da quanto avviene, a detta dei connessionisti, nel cervello umano durante ogni processo di apprendimento.

Non è difficile ritrovare significative analogie con varie teorie che si sono affermate in campo biologico, da quella della rete nervosa diffusa formulata da Camillo Golgi, Nobel per la medicina nel 1906, fino a quella più recentemente elaborata da E.R. Kandel, Nobel per la medicina nel 2000.

- Secondo Camillo Golgi, nella sostanza grigia dei centri nervosi, esiste una rete costituita da neurofibrille finemente e intimamente intrecciate tra loro. Il reticolato nervoso che invade tutti gli strati della sostanza grigia connette, secondo Golgi, le varie cellule nervose tra di loro, collegando funzionalmente tutte le parti dei centri nervosi. Ne conseguiva una equipotenzialità delle diverse regioni cerebrali. Per le sue teorizzazioni Golgi divenne il punto di riferimento dei reticularisti in contrapposizione con i neuronisti. La teoria della rete nervosa diffusa verrà poi demolita dallo spagnolo Ramon y Cajal, il quale pervenne alla conclusione che la rete nervosa diffusa non esisteva e che il sistema nervoso era formato da tante unità elementari, i neuroni, indipendenti l'una dall'altra.

- E.R. Kandel, americano di origine austriaca, studiando il sistema nervoso della Aplasia Californica, una semplice lumaca di mare con un cervello costituito da poche grandi cellule nervose, ha spiegato i meccanismi di apprendimento e memorizzazione. Questa lumaca reagisce agli stimoli, ma in maniera variabile in funzione dell'"educazione" ricevuta: ad esempio, se allo stimolo (cibo) viene associata, per un certo numero di volte, un'altra sensazione fastidiosa (dolore) la reazione viene accentuata.

I risultati delle ricerche condotte sono di due ordini:

1. l'informazione si insedia su ampie porzioni del cervello, distribuendosi in una struttura a rete;
2. il vero luogo della memoria sono le sinapsi, le cui modifiche, più o meno durature, danno conto della memoria a breve e lungo termine. Nel processo di stabilizzazione delle connessioni sinaptiche un ruolo fondamentale è svolto dall'esperienza, dall'iterazione e dalle emozioni.

L'immaginazione

Come detto in precedenza la nostra macchina ha in sé la conoscenza relativa alla propria struttura fisica (geometrie, vincoli, gradi di libertà, escursioni, velocità, accelerazioni ecc.). È quindi in grado, se dotata di apposito software e di opportuni sensori, di simulare le azioni nel momento stesso in cui le sta compiendo. Nella famiglia di macchine che stiamo descrivendo, il mondo dell'emulato, che chiameremo virtuale, è in stretta connessione con il mondo reale, nel senso che ad ogni azione in uno dei due ambienti ne corrisponde istantaneamente un'altra identica nell'altro. Ciò significa che l'ambiente virtuale può essere utilizzato per "comandare" l'effettuazione di azioni nel mondo reale e per ottenere una rappresentazione comoda ed efficace dello stesso (funzione di *human interface* di alto livello). In merito a quest'ultimo aspetto si pensi alle difficoltà nel visualizzare l'evoluzione di un processo produttivo connesse con i possibili aspetti ostili tipicamente presenti in alcuni ambienti industriali, quali alte temperature, atmosfera aggressiva, presenza di fumi. La disponibilità di un emulatore in tempo reale consente la definizione di punti di vista (telecamere virtuali), eventualmente mobili, assolutamente impossibili per un diretto osservatore.

È inoltre possibile operare nel solo contesto virtuale, interrompendo temporaneamente il flusso di segnali tra i due ambienti, allo scopo di effettuare una verifica preliminare di correttezza ed efficacia del processo di lavorazione in corso di definizione. In questa situazione la macchina può, ad esempio, effettuare varie

prove, fino ad individuare il concatenamento di azioni elementari che porta al conseguimento virtuale dell'obiettivo definito o, più in generale, allo svolgimento, ancora virtuale, della missione assegnata. Solo a questo punto si riattivano i collegamenti tra i due ambienti e il processo reale riprende ad evolvere.

È questo un primo passo verso l'immaginazione e la creatività del robot preliminare alla soluzione del più generale problema della volontarietà delle sue azioni, reso possibile, come si vedrà nel seguito, dalla struttura interconnessa della memoria.

Un caso semplice, relativo ad una forma elementare di creatività della macchina, è dato dalla sequenza per la realizzazione di un foro filettato in un blocco di materiale.

La prima associazione è quella tra foro e punta per forare. Questa può già esistere se, ad esempio, è stata creata all'inizializzazione della macchina, oppure può essere attivata dalla macchina stessa. La punta è infatti, tra gli utensili noti, quello il cui impiego rende minima la differenza tra lo stato attuale (nel caso in questione lo stato iniziale) e quello desiderato, come peraltro viene confermato dalle prove effettuate in ambiente virtuale. Pertanto l'utensile viene immediatamente associato alla missione da compiere. Dopo l'esecuzione del foro, esiste ancora una differenza tra la situazione obiettivo e quella attuale, in base alla quale permane una sorta di volontà residua. Questa differenza è data da un filetto di caratteristiche geometriche ben precise, misurabili nel piano di lavoro virtuale. Tale differenza, secondo un processo analogo a quello descritto nel passo precedente, ri-

chiama automaticamente l'associazione con il "maschio di filettatura". L'impiego di quest'ultimo consente di riportare la macchina in condizioni di equilibrio.

Non diversamente dal nostro robot a cui è affidato il compito di forare e filettare il pezzo, agisce la lumaca di Kandel, messa di fronte al tipo di cibo associato allo stimolo doloroso. Questa inizia virtualmente la consumazione del pasto, ma blocca istantaneamente il processo reale perché dalla memoria emerge la sofferenza associata all'evento. Si può sostenere che il mondo virtuale trasmette la sensazione di dolore al mondo reale. Lo stimolo parziale (cibo) richiama istantaneamente tutta la rete costituente l'informazione complessa (cibo, pasto, dolore) come in un fenomeno di risonanza, con un impatto immediato sull'azione. Questa non è volontaria, bensì riflessa, non essendo generata dal soggetto lumaca, ma indotta dal campo in cui essa è immersa.

In conclusione, l'emulazione (immaginazione) e il richiamo dalla memoria di nozioni elementari associate tra loro costituiscono gli strumenti attraverso i quali la macchina è in grado di organizzare le proprie abilità elementari al fine di far fronte ad un compito di tipo nuovo, dando luogo a comportamenti definibili intelligenti.

L'approccio probabilistico ai processi cognitivi

In anni recenti è diventato sempre più comune l'utilizzo di teorie sistematizzate quali strumenti di studio ed approfondimento di discipline scientifiche. Ciò equivale ad avva-

lersi di teoremi rigorosi e forti evidenze sperimentali già disponibili, ed eventualmente da adattare allo specifico contesto, piuttosto che sviluppare metodi ed utensili ad hoc.

La recente storia della scienza illustra questa tendenza. In uno scritto del 1944 Erwin Schroedinger sostiene: "Nel corso degli ultimi 80 anni i metodi statistici e il calcolo delle probabilità sono entrati via via in una disciplina scientifica dietro l'altra. Indipendentemente essi hanno acquisito una posizione primaria in biologia, fisica, chimica, meteorologia, astronomia, per non citare le scienze politiche ed economiche. Questa circostanza può apparire accidentale: è diventato disponibile uno strumento teorico ed è stato usato là dove si rivelava utile. Esempi sono: il microscopio, l'elettromagnetismo, i raggi X, le equazioni integrali. Nel caso della statistica ritengo che si tratti di più di una coincidenza".

Per quanto riguarda l'impiego di teorie probabilistiche nello studio di altre discipline, possono essere citate altre autorevoli fonti.

Pierre Laplace ha detto nel 1819 che "la teoria della probabilità non è altro che buon senso ridotto a calcolo". Nel 1850 James Maxwell sosteneva che "la vera logica di questo mondo è il calcolo delle probabilità, che tiene conto della rilevanza dell'incertezza presente nella mente umana". Il paleontologo Stephen Jay Gould afferma (1994): "la mancanza di comprensione del ragionamento probabilistico costituisce il maggior impedimento di carattere generale all'alfabetismo scientifico".

Una possibile definizione di intelligenza è la capacità di risolvere pro-

blemi nuovi che si presentano nel corso della storia evolutiva del soggetto, in quanto necessaria al suo adattamento ai mutamenti nel tempo dell'ambiente circostante. Questa caratteristica è attribuibile ai sistemi biologici evoluti. Cartesio, con riferimento all'uomo, sostiene in proposito che la saggezza umana rimane sempre la stessa anche se applicata agli oggetti più disparati e non viene cambiata dalla loro diversità più di quanto la luce del sole venga cambiata dalla varietà degli oggetti che illumina.

Una delle discipline più moderne del ragionamento probabilistico è la teoria dei processi stocastici, dove l'aggettivo stocastico sta a significare: probabilistico variabile nel tempo.

Nell'analisi dei processi cognitivi nell'ambito di tale teoria, il primo passo è costituito dalla scelta delle variabili di stato. La più tipica ed usuale tra queste è il numero di individui presenti ad un generico istante di tempo. Il metodo studia l'evoluzione dinamica di questo numero in presenza di processi esterni che tendono a modificarne l'entità. L'adozione del modello stocastico può concretizzarsi in due procedure.

La prima è di natura predittiva e si articola nella formulazione di algoritmi teorico matematici e nella ri-

cerca della soluzione di equazioni integro differenziali, sotto forma analitica, nei casi in cui è possibile, o in forma numerica.

La seconda è di natura induttiva in quanto costituita dalla raccolta, organizzazione, analisi e interpretazione dei dati sperimentali, fino alla identificazione del modello teorico che meglio li approssima.

Le due procedure possono rivelarsi complementari nello studio di fenomeni complessi.

In coerenza con queste premesse si intende adottare un modello di processo cognitivo cosiddetto variazionale, in quanto la conoscenza di un nuovo stato non viene realizzata ex novo, ma soltanto come differenza da uno stato immediatamente precedente nel tempo. Il processo viene così rappresentato da una successione di stati, ciascuno dei quali costituisce, al tempo stesso, lo stato di arrivo del precedente e lo stato di partenza del successivo.

La descrizione dello stato di arrivo del sistema è realizzata mediante differenti ipotesi di stati di partenza e specifiche transizioni di stato, tra loro mutuamente esclusive. Esse descrivono l'evoluzione del sistema, in termini di grandezze di stato, processi possibili e probabilità associate.

L'impiego di modelli stocastici che

studiano la crescita di popolazioni può risultare di estrema utilità per approfondire le dinamiche dei processi di percezione, ad esempio attraverso l'analisi dei dati di input al sistema sensoriale, e di comprensione, ad esempio analizzando l'evoluzione delle reti di neuroni suscitata da fenomeni di riconoscimento o di memorizzazione. Ciò potrà, in prospettiva, consentire la messa a punto di strumenti estremamente potenti per la costruzione di forme di intelligenza evoluta².

Il sistema di controllo

Pianificata la missione o, più semplicemente, definita la sequenza di obiettivi intermedi sul percorso che porta al raggiungimento del risultato/obiettivo finale, il gioco passa al sistema di controllo ed all'apparato sensoriale. Quest'ultimo fornisce all'emulatore tutte le informazioni sul processo in corso, consentendo di conoscere momento per momento gli scostamenti dall'obiettivo intermedio previsto e di intervenire con azioni tendenti al loro annullamento. Più precisamente, ad ogni istante t è effettuato un confronto tra la rappresentazione virtuale del processo progettato (obiettivo) al tempo $t+1$ e la ricostruzione, in ambiente ancora

² L'evoluzione dinamica di una popolazione è generalmente descritta dall'espressione: $d\langle N \rangle / dt = A$ dove A può essere costante oppure funzione di altre variabili, tra cui t e N , e $\langle N \rangle$ è il valore aspettato di N . Il processo stocastico sottinteso dalla cinetica del valore medio $\langle N \rangle$ è il seguente: $P(N, t+dt) = P(N-1, t) A dt + P(N, t) [1 - A dt]$

dove i simboli indicano: $\langle N \rangle = \sum N P(N, t)$

$P(N, t+dt)$ la probabilità che il sistema si trovi allo stato N all'istante $t+dt$;

$P(N-1, t)$ la probabilità che il sistema si trovi allo stato $N-1$ all'istante t ;

A la probabilità per unità di tempo che un individuo entri nel sistema;

$A dt$ la probabilità che un individuo entri nel sistema tra t e $t+dt$;

$[1 - A dt]$ la probabilità che nessun individuo entri nel sistema tra t e $t+dt$.

Il primo termine della somma a secondo membro indica la probabilità di crescita unitaria.

Il secondo termine a secondo membro indica la probabilità di status quo.

I due eventi sono mutuamente esclusivi e perciò le probabilità associate sono sommabili.

Figura 6 –



virtuale, della condizione reale (stato) al tempo t . Il vettore scostamento costituisce l'input degli azionamenti. Al raggiungimento dell'obiettivo corrisponde l'annullamento di tale vettore e lo stato di quiete della macchina.

Componente fondamentale del sistema di controllo descritto è il processore dedicato al calcolo in tempo reale del vettore scostamento. Tale processore (figura 6), chiamato *visio* in quanto progettato per operare su immagini e quindi predisposto per elaborare dati provenienti da apparati sensoriali particolarmente evoluti, estrae ad ogni passo temporale la differenza tra la scena obiettivo e la scena attuale.

Nel caso di una macchina per asportazione di truciolo, la scena obiettivo è data dal progetto di un pezzo lavorato, così come definito da un modellatore CAD; la situazione attuale è definita dallo stato del pezzo in fase di lavorazione e, con l'ausilio del sottosistema sensoriale, viene ricostruita in ambiente virtuale.

L'output di visio, ricostruzione virtuale della differenza tra le due scene, costituisce la geometria delle lavorazioni ancora da effettuare e produce direttamente il vettore scostamento da fornire in input agli azionamenti.

L'approccio adottato, di tipo descrittivo in contrapposizione a quello tradizionale prescrittivo, offre evidenti vantaggi derivanti dall'impostazione dei processi di lavorazione. Infatti:

a. la macchina non deve essere programmata, ma solamente messa a conoscenza del lavoro da fare; ciò esclude la necessità di figure professionali costose e, tipicamente, estranee alla cultura dello specifi-

co ambiente di produzione, sia per le fasi di messa a punto e primo avvio della macchina, sia per la gestione ordinaria; viceversa, recupera un ruolo centrale l'addetto alla produzione, che le prime generazioni di robot avevano reso subalterno;

b. la drastica riduzione dei tempi e della manodopera associati a questa fase rende economicamente realizzabili le produzioni di piccoli lotti e quindi consente la personalizzazione del prodotto a costi estremamente competitivi;

c. la qualità del manufatto può essere facilmente garantita attraverso l'automatico recupero delle imprecisioni imputabili a cause varie (usura utensili, oscillazioni di temperatura, variazioni degli assetti); si può dire che ogni pezzo ha la qualità di un originale.

Figura 7 – (a) l'idea, (b) il progetto (l'obiettivo), (c) la condizione iniziale, (d) l'emulatore effettua il processo di lavorazione

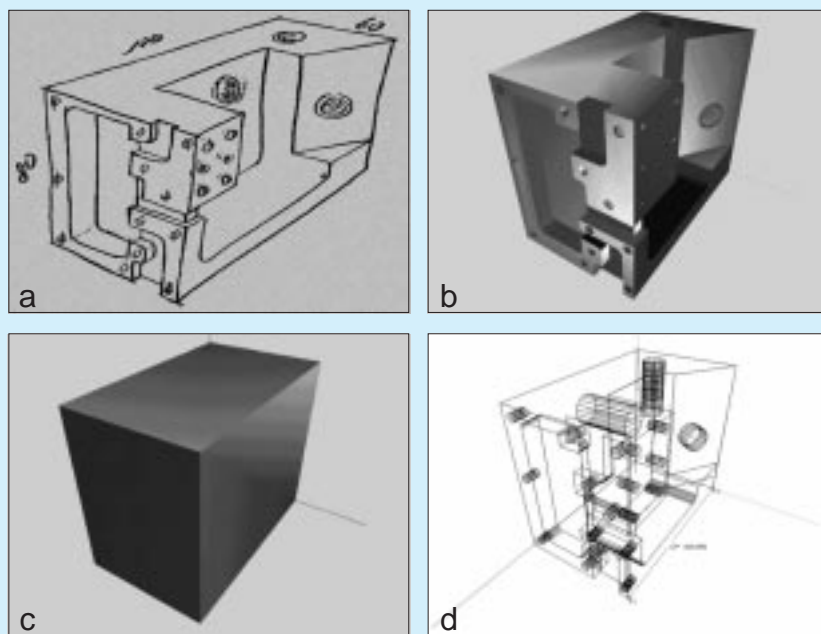
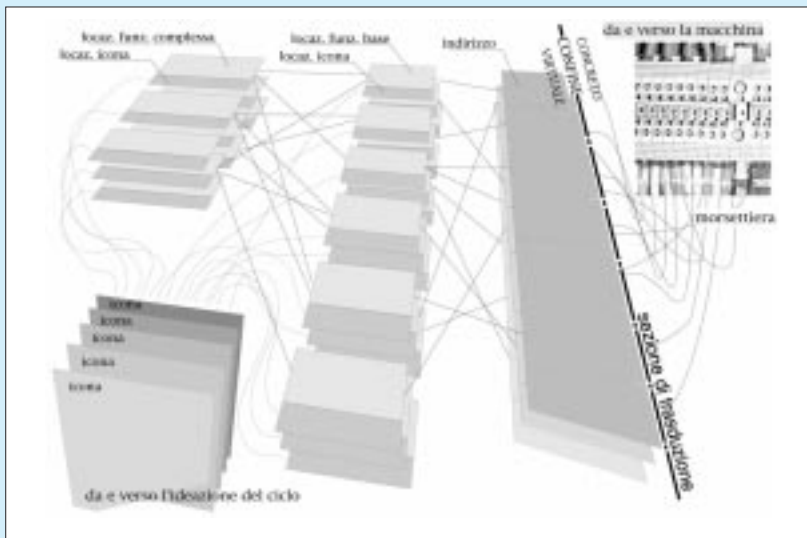


Figura 8 –



L'inizializzazione del robot consiste nell'identificare e rendere operative le sue funzioni elementari. A questo scopo è stata messa a punto una procedura standardizzata consistente nei quattro punti di seguito descritti (si veda in proposito la figura 8).

- creazione di una morsettiera sulla quale vengono riportati tutte le linee di comando e di lettura dei componenti di macchina;
- collegamento della morsettiera fisica ad una lista di indirizzi fisici (morsettiera virtuale);
- creazione di pulsanti (icone) di accesso ad ogni indirizzo ed associazione di una funzione elementare di macchina a ciascuna icona;
- eventuale creazione di sequenze predefinite (icone costituite a loro volta da altre icone), per il conferimento, sin dall'inizio di un primo insieme di abilità più complesse alla macchina.

Con tale procedura si dispone in-

nanzi tutto di una interfaccia utente di impiego estremamente immediata per collaudare e caratterizzare la macchina. Come accennato in precedenza, l'addetto alla lavorazione può interagire direttamente con la macchina, predisponendo le sequenze di operazioni necessarie.

Inoltre lo schema descritto costituisce il mare di neuroni la cui continua interconnessione, analogamente a quanto avviene nel cervello umano, implica la costruzione di informazioni, e quindi di capacità operative, sempre più complesse.

La creazione di nuove connessioni può facilmente avvenire ad opera dell'utente.

La autogenerazione di icone complesse attraverso la connessione spontanea di più icone è un obiettivo reso possibile dall'approccio adottato, con facilità maggiore nei casi in cui è possibile iscrivere in un contesto definito e limitato la missione del robot.

Il comando e il controllo di protesi artificiali

Le problematiche connesse con il comando ed il controllo delle protesi artificiali possono essere affrontate avvalendosi dello stesso modello di percezione, comprensione e volontà, mutuato dalla struttura nervosa dell'organismo umano, adottato per la realizzazione di robot evoluti. La descrizione che segue fa riferimento, per una più immediata comprensione dell'approccio seguito, ad una protesi di arto.

Ci troviamo in una situazione in cui sono mancanti l'organo attuatore ed i suoi sensori. Inoltre la menomazione ha causato una interruzione delle innervazioni preposte alla trasmissione dei comandi provenienti dal cervello e delle informazioni di stato provenienti dalla periferia. Ipotizziamo che tali innervazioni, a partire dai terminali fisicamente esistenti o da altri punti intermedi individuabili, mantengano la loro attitudine alla trasmissione dei segnali.

L'obiettivo è consentire al portatore di handicap di utilizzare la protesi "sentendola" come un proprio arto. Ciò deve valere, in generale, per qualunque tipo di arto artificiale, anche se, ovviamente, il riferimento resta sempre l'arto antropomorfo.

Non si intende qui percorrere il cammino del collegamento fisico tra muscoli, leve, attuatori biologici ed i corrispondenti componenti della protesi, che pure in altri ambiti di ricerca viene tentato. Si ritiene piuttosto di maggiore efficacia l'impiego dei segnali che possono continuare a fluire nel sistema nervoso da e per il cervello per controllare un dispositivo che, in linea di principio, non

ha vincoli di struttura, di funzionalità o di contiguità fisica rispetto all'organismo di cui è tutore.

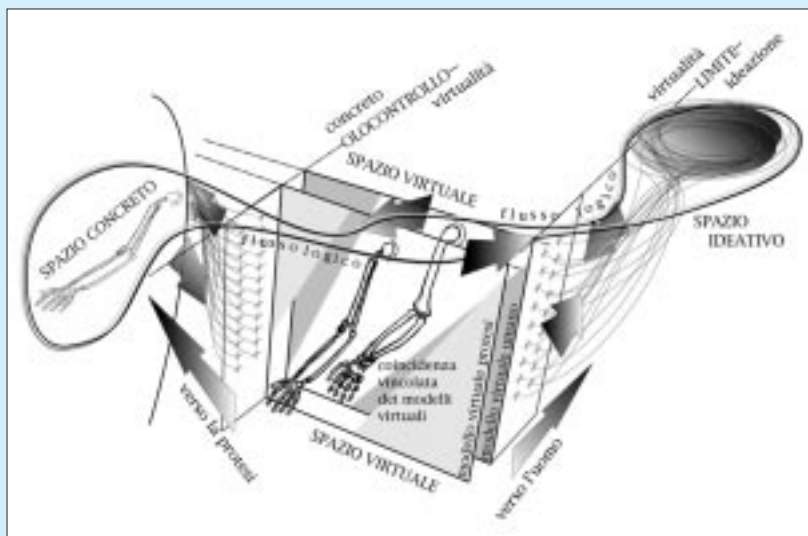
Anche in questa classe di problemi è di valido supporto l'impostazione basata sul collegamento tra mondo fisico e ambiente virtuale.

Supponiamo di aver realizzato l'arto artificiale, con le sue funzionalità motorie e con una struttura sensoriale adeguata, anche se di complessità ridotta rispetto a quella di un arto biologico. Nel corso del nostro ragionamento può essere comodo pensare che tale arto sia di tipo antropomorfo, con dimensioni, forme e articolazioni analoghe a quelle riscontrabili in un analogo arto umano. Esso è inoltre rappresentabile in ambiente virtuale e, per quanto detto in precedenza, può essere comandato attraverso l'interfaccia virtuale dell'emulatore in tempo reale e può fornire a quest'ultimo le informazioni provenienti dall'apparato sensoriale di cui è dotato.

Per quanto riguarda invece l'arto mancante, di cui comunque vanno implementate le funzioni, e rispetto al quale l'organismo è predisposto in termini di comunicazioni con il cervello, possiamo solo realizzare un modello in grado di eseguire in tempo reale i movimenti associati ai comandi rilevati in opportuni punti del sistema nervoso. La complessità di tale modello, in linea di principio, può essere comunque elevata, anche se, come risulterà subito chiaro, sarà sufficiente un approccio sensibilmente semplificato.

Il modello dell'arto umano può essere comandato dai segnali biologici e quindi può essere animato virtualmente. Sempre in ambiente virtuale è possibile vincolare tra loro al-

Figura 9 – Arti reali ed emulati



cuni punti rispettivamente dell'arto meccanico e di quello umano. Insomma il modello dell'arto meccanico può essere trascinato da quello dell'arto umano che lo vincola a sé in alcuni punti di riferimento. Lo schema logico descritto nella figura 9 illustra qualitativamente il flusso dei segnali di comando e di stato dal cervello umano (luogo dell'ideazione) all'arto artificiale (ambiente).

La corrispondenza biunivoca tra ambiente virtuale e mondo reale garantisce che il movimento reale dell'arto meccanico sia esattamente sovrapposto a quello dell'arto umano mancante. Ad ogni intervallo di tempo l'apparato sensoriale dell'arto meccanico fornisce al cervello i dati relativi agli scostamenti tra la posizione voluta, data dall'emulatore dell'arto umano, e quella reale dell'arto meccanico, consentendo la generazione di segnali di comando correttivi.

In questi termini si intuisce come sia sufficiente una modellazione solamente qualitativa dell'arto umano, essendo previsto l'intervento continuo di azioni correttive da parte del portatore di handicap.

Potrebbe essere sufficiente pensare ad un modello che tenga conto della sola polarità del comando. In altri termini, ai fini del comando dell'arto artificiale, può bastare distinguere tra segnali destinati all'azionamento del muscolo agonista e quelli per la contrazione del muscolo antagonista. La correzione che può essere continuamente apportata, sulla base dei dati provenienti dall'apparato sensoriale, garantirà la coerenza tra i movimenti effettuati e quelli desiderati.

In tal senso un ruolo molto importante è svolto dall'addestramento. Il portatore di handicap, valutando la correlazione tra stimoli di comando e segnali di ritorno (tattili, visivi, di forza), con il passare del tempo

sente l'arto come proprio e come tale impara ad utilizzarlo.

La situazione di handicap esclusivamente sensoriale può essere trattata come un caso particolare, e concettualmente più semplice, rispetto a quello descritto in precedenza.

Il problema si riduce alla realizzazione di nuovi elementi sensibili e di nuovi percorsi per la trasmissione dei segnali al cervello. Questa specifica materia verrà trattata nel seguito, con riferimento ad un dispositivo di ausilio ai non vedenti nella ricostruzione dell'ambiente circostante.

Alcune realizzazioni

La metodologia descritta è stata applicata, nei differenti gradi di sviluppo a cui via via perveniva, nella realizzazione di numerosi sistemi e macchine. Gli esempi che qui si riportano testimoniano, per la diversità dei campi di impiego e delle funzioni intelligenti che in ciascuno di questi vengono realizzate, la grande generalità e il rilevante potenziale applicativo della teoria.

Strettamente connessa con l'impostazione teorica del lavoro è la modalità di realizzazione dei vari prototipi innovativi. Lo schema seguito è quello del laboratorio condiviso, ambiente in cui confluiscono le conoscenze scientifiche e metodologiche, quelle tecnologiche e quelle applicative, tipicamente apportate da soggetti differenti tra loro per cultura e per ruolo, ma accomunati dallo stesso obiettivo nel breve e medio termine.

Nel laboratorio operano, tipicamente, i ricercatori ENEA, gli esperti di società fornitrici di tecnologie inno-

vative e gli ingegneri delle imprese utenti. I primi sono portatori di finalità scientifiche e vedono nel lavoro comune l'opportunità di validare in campo i risultati delle più recenti elaborazioni teoriche e delle sperimentazioni effettuate in ambiente controllato. I secondi esprimono interessi connessi con la industrializzazione e la commercializzazione di componenti e sistemi ad alta tecnologia. Sotto questo aspetto costituiscono l'anello più importante della catena che collega il mondo della ricerca a quello della produzione. Gli ultimi, a contatto più degli altri con il mercato, garantiscono la validità dei requisiti di sistema e la competitività complessiva offerta dall'incorporazione di componentistica avanzata nel bene finale.

Centro di lavorazione multiutensile (macchina *transfer*)

Il Transcenter "TRC 8/7" (figura 10) della soc. Giuliani è una macchina estremamente complessa per la

quale il sistema di controllo ENEA è sembrato, fin dai primi contatti con il partner utente, offrire rilevanti vantaggi rispetto a soluzioni commerciali. Questi riguardano principalmente la semplicità di programmazione dei cicli di lavorazione e, di conseguenza, la possibilità di produrre lotti di dimensioni ridotte mantenendo significativi margini di competitività.

La macchina è costituita da sette stazioni, cinque orizzontali e due verticali, di lavorazione ed una stazione per il carico/scarico dei semilavorati. Ogni stazione è a sua volta costituita da cinque assi, tre dei quali per la traslazione, uno per la rotazione della morsa ed un altro per pilotare il mandrino o, in alternativa, la rotazione della torretta portautensili. Ogni torretta dispone di sei portautensili. Gli utensili normalmente montati sui portautensili sono: punte a forare, maschi a filettare, frese oppure utensili per la filettatura a tre assi.

In ogni stazione sono poi presenti tutti i sensori e gli attuatori di tipo

Figura 10 – La macchina transfer TRC 8/7



elementare (finecorsa assi, elettrovalvole a due solenoidi ecc.) per svolgere le necessarie funzioni (sollevamento e discesa torretta, innesto mandrino, innesto torretta, sollevamento e discesa morsa ecc.)

La stazione di carico/scarico è costituita da un robot a tre assi più una pinza per la presa e il posizionamento del semilavorato ai fini della lavorazione. La posizione di arrivo del semilavorato è rilevata da un sistema di visione a cui è asservita la pinza di presa.

Infine il Transcenter è dotato di una tavola rotante comprendente otto morse portapezzo; con la rotazione della tavola ogni morsa porta il pezzo semilavorato di fronte alla stazione di lavorazione successiva, fino all'uscita dalla macchina attraverso la stazione di carico/scarico. Si tratta in totale di 38 assi controllati.

Visione artificiale per robot

La realizzazione di sensori complessi per la robotica, come quelli per la visione artificiale, è stata affrontata coerentemente con il modello di percezione e comprensione descritto. Pertanto al sistema sensoriale è affidato il compito di produrre tutti i dati necessari per la ricostruzione virtuale della scena, tenendo peraltro conto degli elementi di conoscenza a priori che il contesto applicativo fornisce. Tali elementi sono tanto più numerosi quanto più elevato è il grado di specializzazione del robot o, che è lo stesso, quanto più delimitato è il suo campo d'azione.

Nella maggioranza dei casi, ad esempio, la modellazione tridimensionale dell'ambiente può essere fatta utilizzando una sola telecamera, tenendo conto della sua posizione nello spa-

zio nonché della tipologia di scena che questa riprende.

In altri termini, quando la variabilità della scena è limitata, come tipicamente si verifica in un ambiente strutturato quale quello proprio della lavorazione industriale, un sensore relativamente semplice dà facilmente conto delle variazioni di scena che il robot deve rilevare per poter compiere la missione affidata.

Nella figura 11 è riportato un sensore di visione, basato su lama di luce laser e singola telecamera, utilizzato a corredo di alcune macchine utensili.

L'organo deputato al processamento dei dati sensoriali e, ove richiesto, alla generazione degli input per gli azionamenti è il processore *visio*.

Il sensore di figura 11, con i necessari adattamenti di configurazione geometrica, è stato utilizzato anche in altre applicazioni, che non comportano il coinvolgimento di organi attuatori, quali quelle relative ai controlli di qualità.

Robot laser con VA

L'impianto Fincantieri, dedicato alle applicazioni di cantieristica navale, costituisce l'unico centro di saldatura laser di grandi pannelli attualmente operante al mondo. La sorgente laser attualmente in uso è a CO₂ con potenza nominale pari a 17 kW.

L'ENEA, che in passato ha partecipato alla realizzazione di altri robot

Figura 11 –



laser per saldatura, il più complesso dei quali fu quello della RIVA TECHINT, ha svolto un ruolo di rilievo nella costruzione di questa macchina definendone l'architettura complessiva, dimensionando il canale ottico e progettando il sistema sensoriale e di controllo.

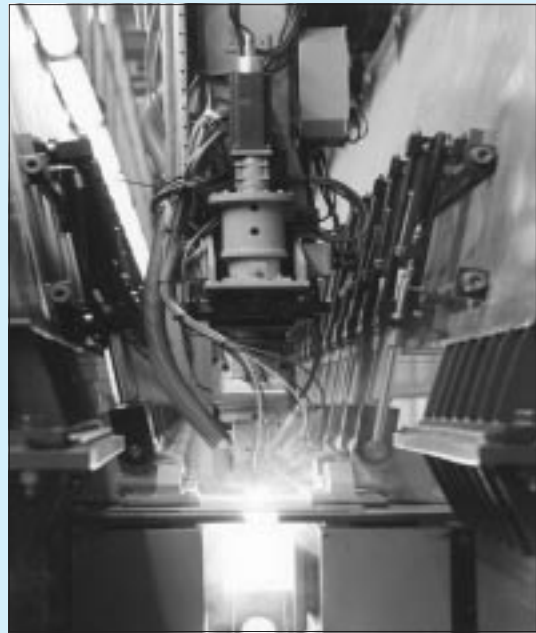
Si tratta di un robot a portale (x, z, Φ) con corsa utile di saldatura pari a 17 m. Una così rilevante lunghezza di saldatura, associata ad elevata qualità dei risultati sono imputabili alle peculiarità del sistema sensoriale e di controllo basato sulla visione artificiale e sulla ricostruzione virtuale del campo operativo.

Tale approccio inoltre ha positivamente condizionato anche la struttura della macchina, relativamente leggera e caratterizzata da una meccanica non particolarmente precisa, quindi, in definitiva, relativamente poco costosa. Infatti l'intelligenza del sistema consente di:

Figura 12 – La macchina Fincantieri



Figura 13 – La macchina Fincantieri



- adeguare il percorso dell'equipaggio mobile (testa di focalizzazione del fascio laser);
- compensare in tempo reale oscillazioni connesse con i limiti di rigidità della struttura;
- inseguire i movimenti delle lamiere dovuti a tensioni termiche indotte nel corso del processo.

Altri vantaggi derivanti dal sistema di controllo riguardano:

- la riduzione dei tempi morti, tipicamente richiesti per la programmazione e la verifica delle traiettorie,
- la semplificazione dell'interfaccia utente,
- come conseguenza, un incremento complessivo di produttività anche rispetto a soluzioni tradizionali (tecniche di saldatura ad arco) a cui è associata una

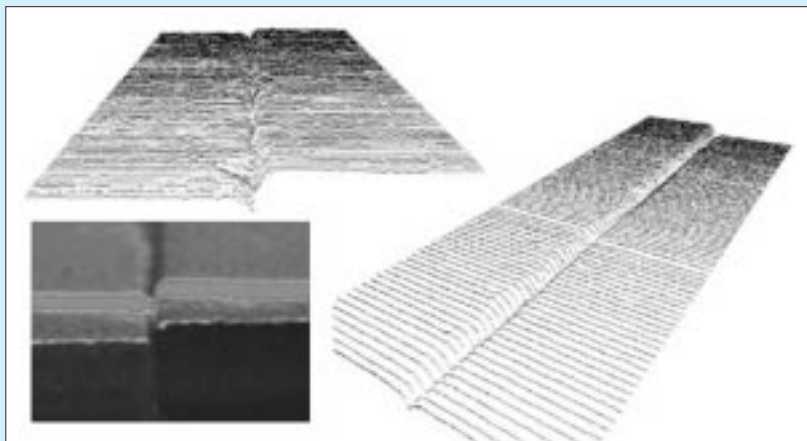
qualità di saldatura decisamente inferiore.

La qualità della saldatura è certificata da un equipaggio mobile costituito da sensori ad ultrasuoni che, operando in tempo reale, ispeziona l'a-

rea interessata dal processo segnalando le coordinate corrispondenti ad eventuali difetti, quali inclusioni di gas o "cricche da ritiro".

La figura 12 mostra la macchina nel suo complesso ed in particolare le

Figura 14 – Il giunto di saldatura: immagine reale e viste virtuali



rulliere per la movimentazione delle lamiere. La figura 13 è una vista interna durante il processo. La figura 14 riporta l'immagine delle lamiere accostate ripresa dal sistema di visione e la sua ricostruzione in ambiente virtuale secondo due viste differenti.

Macchina per la realizzazione di protesi coronariche

Le moderne tecniche di angioplastica prevedono, in alcuni casi di ostruzione delle arterie coronariche, l'inserimento, mediante l'uso di una apposita sonda, di protesi chiamate stent. Si tratta di spirali metalliche di forma opportuna che mantengono pervie le luci dei vasi.

Tradizionalmente tali protesi vengono realizzate a mano, sagomando un filo di acciaio inossidabile di diametro dell'ordine di .2 mm. La soluzione del filo ritorto appare migliore rispetto ad altre, quali ad esempio quella costituita da piccoli cilindri cavi, per la migliore adattabilità alla forma del vaso sanguigno, con conseguenti vantaggi anche per ciò che riguarda i rischi di formazione di trombi.

In fase di inserimento lo stent viene avvolto (figura 15 a) attorno ad un

palloncino situato nella parte terminale della sonda.

Quando la sonda ha raggiunto la posizione desiderata il palloncino viene gonfiato ad una pressione di circa 9 atm, facendo così assumere allo stent la forma definitiva che mantiene in permanenza (figura 15 b).

La produzione di questi dispositivi mediante l'uso di una macchina totalmente automatizzata è suggerita da considerazioni connesse con la garanzia di qualità del prodotto. I benefici in termini di produttività, pur rilevanti, appaiono di importanza secondaria.

In collaborazione con la società IBS, l'ENEA ha progettato e realizzato la macchina, riportata in figura 16, per la produzione di stent a partire un modello parametrico definito a priori e dai valori assegnati ai differenti

Figura 16 – La macchina per la produzione degli stent

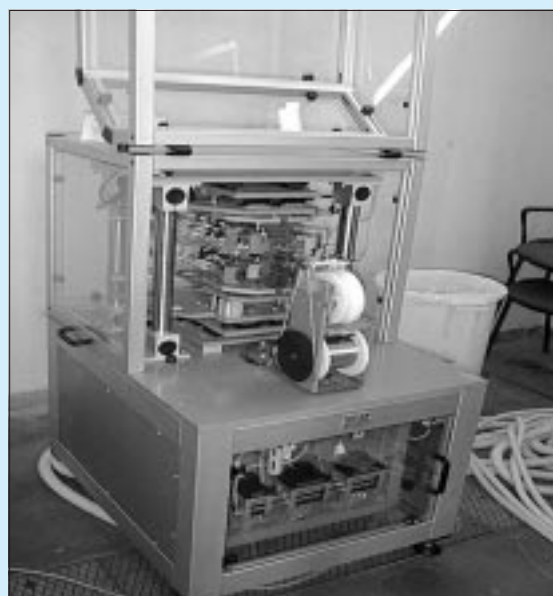


Figura 15 – Protesi coronaria (stent): (a) lo stent avvolto, (b) lo stent aperto



parametri (diametro del filo, diametro finale della spirale). La semplicità della macchina e la sua facilità d'uso, che si traducono poi in bassi costi di costruzione e di esercizio, sono in gran parte dovute al sistema di controllo e di interfaccia con l'operatore.

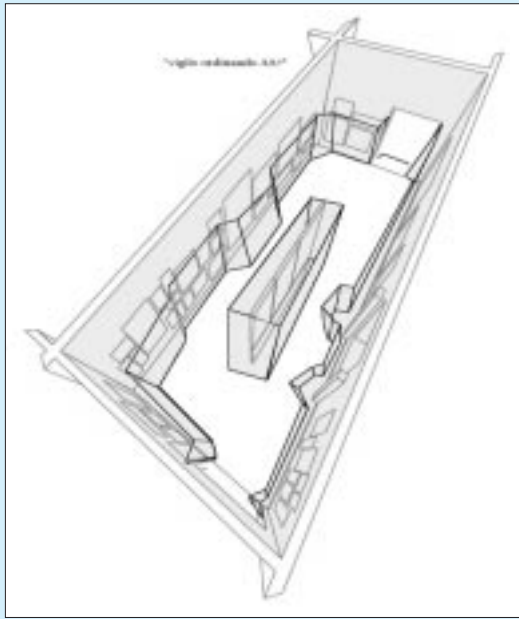
Visio per controlli ambientali

Il sistema controllo basato sull'emulatore e sulla visione artificiale rende estremamente facile la realizzazione di sistemi per la supervisione di ambienti o impianti critici a fini di sicurezza.

A titolo esemplificativo si può far riferimento ai controlli di sicurezza in un museo.

In figura 17 è riportata la ricostruzione virtuale di una sala di museo e delle aree di sicurezza che, nelle ore di presenza del pubblico, devono essere rispettate. Analoghe

Figura 17 – La sala di un museo: protezioni software



viste possono essere generate con riferimento alle ore di chiusura, eventualmente distinguendo gli orari dedicati alle pulizie e quelli di interdizione totale, con l'eccezione del personale di sorveglianza.

Il sistema di visione artificiale è in grado di rilevare, in tempo reale, gli scostamenti tra situazioni normali (presenza di persone nelle aree autorizzate) e di allarme (violazione delle protezioni dovuta alla presenza di persone in aree non ammesse nelle ore in questione).

Tipicamente il segnale di allarme viene utilizzato per intervenire sui flussi di visitatori e per sollecitare l'intervento del personale di vigilanza. Una possibilità in più offerta dal sistema sviluppato dall'ENEA consiste nell'inseguimento dell'intruso con telecamere guidate da sistemi di puntamento e nella eventuale attiva-

zione di sistemi di registrazione. In fondo l'intruso costituisce "la differenza" tra la situazione voluta e quella reale ed è quindi immediatamente individuato come bersaglio da mantenere nel campo di ripresa di una o più telecamere. La discriminazione tra soggetti differenti per forma o dimensioni può essere di ausilio per adeguare l'intervento alla gravità della situazione. Un gatto non causerà l'intervento di una nutrita squadra di addetti alla vigilanza.

Altra informazione di facile acquisizione, preziosa per tarare l'intervento, è quella relativa alla numerosità degli intrusi.

Numerosi prototipi basati sui principi enunciati sono stati realizzati in collaborazione con società operanti nel settore dei controlli ambientali. L'industrializzazione e la commercializzazione dei primi sistemi di questo tipo sono prevedibili entro un anno circa.

Visio per non vedenti

Il sistema di supplenza percettiva per non vedenti, di cui sono stati realizzati vari prototipi, si basa sui principi descritti in precedenza ed in particolare sul concetto che i processi di comprensione nell'uomo sono costituiti dalle due fasi principali:

- associazioni tra sensazioni e situazioni/oggetti,

- richiami dalla memoria di una delle sensazioni.

Il processo è, in fondo, analogo a quello descritto da Platone nel VII° libro della Repubblica: le ombre proiettate su una parete e le voci delle persone che passano fuori dalla caverna costituiscono segni, o firme, in base ai quali si può ricostruire ciò che accade all'esterno.

La figura 18 mostra lo schema di funzionamento del sistema "visio per non vedenti".

La microtelecamera posta sugli occhiali del non vedente (figura 19a) acquisisce le immagini dalla scena e le consegna al processore visio. L'elaborazione compiuta in tempo reale da quest'ultimo consiste nella generazione dei contorni degli oggetti, così come a titolo esemplificativo è mostrato nelle due immagini di fig. 20, che riportano, rispettivamente una mano che si accosta ad una pallina e la scena ripresa in un corridoio. I profili prodotti vengono inviati al tappetino epidermico (figura 19b), costituito da una serie di aghi che, opportunamente azionati da piccoli solenoidi, possono generare stimoli tattili sulla superficie del corpo (ad esempio il petto) su cui è poggiato.

La frequenza di vibrazione degli aghi è compresa nell'intervallo di sensibilità di specifici sensori tattili presenti nel derma (corpuscoli del Pacini).

L'apparato è stato utilizzato da circa venti non vedenti per periodi che vanno da una settimana fino a, in un ristretto numero di casi, alcuni mesi. I risultati ottenuti sono stati di estremo interesse. Con l'esercizio l'utilizzatore impara ad associare oggetti a stimoli e ad integrare, nel proprio

Figura 18 – Il sistema di ausilio per i non vedenti: schema di principio

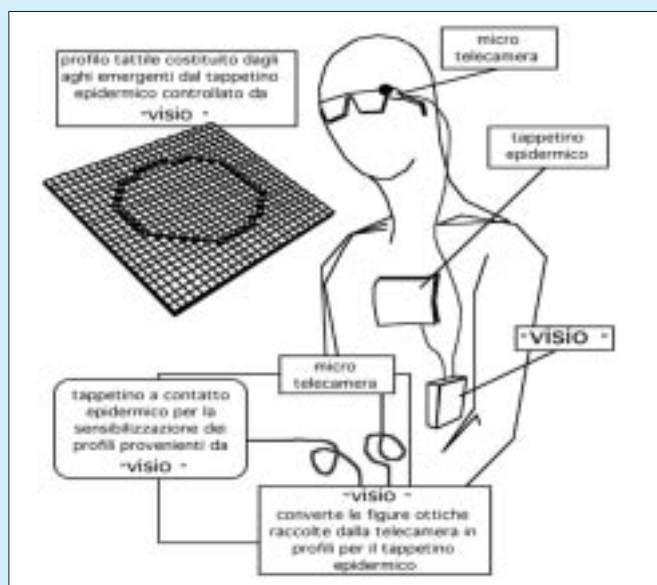


Figura 19 – Il sistema di ausilio per i non vedenti: (a) la microtelecamera, (b) il tappetino epidermico



Figura 20 – L'output di *visio*: due scene da tradurre in sensazioni tattili



“ambiente virtuale”, i nuovi dati con le conoscenze a priori. I benefici sono pressoché immediati nella situazioni di limitata complessità, caratterizzate, ad esempio, da ambiente strutturato, ridotta numerosità di oggetti, scarsa variabilità della scena.

In casi caratterizzati da elevata complessità della scena il tempo necessario al raggiungimento di risultati soddisfacenti si allunga ed i risultati stessi variano in misura non trascurabile da un soggetto all'altro.

Un altro parametro da valutare in termini di efficacia degli stimoli tattili forniti al non vedente è la dimensione del tappetino epidermico, che nel prototipo attualmente impiegato è pari a 400 aghi vibranti ed è largamente al di sotto dei limiti imposti dalla tecnologia adottata.

Le sperimentazioni effettuate utilizzando i vari prototipi dotati di un numero crescente di aghi vibranti suggeriscono un numero di compromesso intorno ai 2000 che coniugherebbe un ottimo grado di efficacia della funzione di sostegno ai non vedenti con un ragionevole livello di complessità e di costi.

Conclusioni

La costruzione di uno schema di intelligenza sintetica mutuato dai modelli connessionisti, oggi adottati dalle correnti di pensiero più avanzate nel settore della neurofisiologia, ha rivelato un grande potenziale applicativo e rilevanti vantaggi in termini di flessibilità, adattabilità e semplicità delle realizzazioni.

Tale impostazione ha in sé un interessante potenziale di sviluppo rispetto alla teoria classica dell'intel-

ligenza artificiale ed appare in grado di condurre al superamento di molti dei limiti di quest'ultima, individuabili nella separazione tra le fasi di percezione, reasoning, azione, learning.

In particolare, la messa a punto di modelli stocastici in grado di descrivere i processi di apprendimento (percezione, reasoning e learning) potrà risultare di estrema utilità al fine di riprodurre strutture artificiali che replicano architetture biologiche ad elevata connettività.

La sfida più interessante, che vede impegnati molti gruppi di eccellenza operanti nel campo della robotica avanzata e dell'intelligenza artificiale, è quella che ha come primo obiettivo la generazione di comportamenti coscienti, o volontari, nell'individuo meccatronico.

Questo tema si traduce, nei termini del modello descritto, in meccanismi di automodificazione della memoria (con creazione di nuove reti e reti di reti), di innesco di processi di associazione (un solo elemento fa

“emergere” tutta la rete), di produzione di stati di propensione all'azione.

L'analogia con i processi in atto nell'uomo è evidente e costituisce motivo per un approfondimento degli studi in vari settori della neurobiologia.

Un secondo obiettivo estremamente ambizioso consiste nell'integrazione di funzionalità artificiali, sensoriali e motorie, con il sistema nervoso di un organismo umano.

Dedichiamo solo un breve cenno alle prospettive che questo filone di ricerca apre nel medio termine.

Per ciò che riguarda il sistema sensoriale umano, si può andare ben oltre la supplenza di sensi lesi o totalmente mancanti: si può pensare di gestire sensi “nuovi” o “aggiuntivi”, esercitando il cervello ad integrare le informazioni fornite da questi con i dati provenienti da quelli naturali; si può estendere il dominio della sensibilità a grandi distanze ed a nuove tipologie di fenomeni. Ciò potrà comportare l'asservimento di attua-

tori, anche remoti e complessi, come protesi del nostro organismo.

Gli stessi sensi possono costituire il sistema di percezione di un robot di nuova generazione, dotato di una capacità evoluta di comprensione e decisione relativamente a domini applicativi via via più vasti.

Se facciamo riferimento al settore dell'automazione dei processi di produzione, il concetto di robot, come sintesi dei momenti di percezione, decisione e azione, può essere esteso all'intera fabbrica.

Nel campo della cosiddette applicazioni di servizio è ragionevole pensare a robot multitask, in grado cioè di compiere missioni molto diverse tra loro, se necessario ottimizzando tempi e impiego di risorse su più missioni contemporaneamente.

L'aspetto con i maggiori contenuti innovativi è comunque dato dall'autonomia, non solo in termini di esecuzione dei compiti ma soprattutto per ciò che riguarda le decisioni e la formulazione dei relativi piani di attuazione delle medesime.