

EXPLORATIONS IN ARCHITECTURE

DIDACTICS

LA COMPRENSIONE MEDIANTE PROGETTAZIONE

PAGINA 124 — 133

Daniel Bisig, Rolf Pfeifer

TRADUZIONE: Lucio Di Martino


CORREZIONE: Bruno Persico

From
EXPLORATIONS IN ARCHITECTURE
TEACHING, DESIGN, RESEARCH

ISSUED BY the Swiss Federal Office of Culture, Urs Staub
EDITED BY Reto Geiser

Birkhäuser
Basel · Boston · Berlin
2008

ISBN 978-3-7643-8921-5

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Federal Office of Culture FOC

EXPLORATIONS IN ARCHITECTURE

DIDACTICS

LA COMPrensIONE MEDIANTE PROGETTAZIONE:
L'APPROCCIO SINTETICO ALL'INTELLIGENZA

Daniel Bisig, Rolf Pfeifer

La progettazione e la costruzione di sistemi con particolari competenze costituisce un'attività centrale della ricerca nel campo dell'intelligenza artificiale (AI). Uno dei punti interessanti di questo approccio è il fatto che non solo riusciamo ad ottenere a un sistema funzionale completo, ma strada facendo, apprendiamo molte cose su fenomeni particolari, ad esempio la formazione spontanea di strutture o la locomozione rapida. Il nostro approccio sintetico all'intelligenza promuove la progettazione e lo sviluppo come metodologia di ricerca. Ma in contrasto con l'ingegneria classica, la "comprensione mediante progettazione" fa progredire un percorso progettuale che parte dal dettaglio ed è basato sulla "progettazione per emergenza".

La comprensione mediante progettazione ("understanding by design") è il nome di una particolare metodologia di ricerca utilizzata in modo crescente in diverse scienze. Questa metodologia costituisce il fondamento principale dell'intelligenza artificiale incorporata ("embodied AI"), come riassunto nel libro *Understanding intelligence*¹ e nel più popolare *How the Body Shapes the way we Think: A New View of intelligence*¹¹.

Molto brevemente, la comprensione mediante progettazione è basata sull'assunzione che alcuni fenomeni naturali possano essere meglio compresi tramite la costruzione di artefatti che incorporano un insieme selezionato delle sue proprietà. Il processo di costruzione dell'artefatto e la sua successiva esposizione ai risultati della sperimentazione si risolve in una forma tangibile di concettualizzazione e di ipotesi verificabili. Inoltre, questo approccio conduce a innovazioni nel campo dell'ingegneria nonché ad applicazioni generali potenziali nel particolare fenomeno studiato.

EXPLORATIONS IN ARCHITECTURE

DIDACTICS

La metodologia della comprensione mediante progettazione combina due tipi di idee, l'approccio sintetico e la progettazione per emergenza. L'approccio sintetico introduce alcune pratiche di ingegneria nella ricerca scientifica. In maniera analoga, si esaminano specifici fenomeni (ad esempio, riconoscere un volto nella folla, o un movimento e il modo di camminare) con la prospettiva di implementazione. La progettazione per emergenza cerca di minimizzare la parzialità del progettista e la pre-definizione delle proprietà risultanti dell'artefatto. Questo nuovo approccio non è comune sia in ingegneria che nelle scienze.

Il termine "metodo sintetico" è stato utilizzato dallo psicologo Kenneth Craik per descrivere il processo di verifica delle teorie del comportamento attraverso modelli matematici.^{III} L'approccio sintetico non è inteso come una sostituzione, ma piuttosto come un complemento dell'approccio analitico tradizionale. Le scienze analitiche sono molto ben fondate e hanno accresciuto notevolmente la conoscenza umana e il suo controllo sul mondo naturale. Eppure, a partire dalla seconda metà del XX secolo, la scienza ha cominciato a prendere conoscenza di un numero crescente di fenomeni naturali che sembrano essere inesplicabili. Oramai è chiaro che questi fenomeni condividono alcune proprietà fondamentali che resistono in larga misura a un approccio analitico. Questi fenomeni sono generalmente basati su un gran numero di componenti che operano in parallelo interagendo tra di loro e con l'ambiente circostante, in un modo che deve essere descritto tramite relazioni matematiche non lineari. Inoltre, siamo ormai consapevoli del fatto che questi fenomeni non sono anomalie o eccezioni, ma rappresentano piuttosto la maggior parte dei sistemi. Gli esempi abbondano nel mondo puramente fisico (per esempio il clima, la formazione delle stelle, la creazione dei fiocchi di neve), negli organismi biologici e nelle società (il cervello, le regole genetiche, il movimento di un corpo, il comportamento di una folla, la diffusione delle malattie), così come nei sistemi sociali, tecnici e socio-tecnici creati dall'uomo (automi cellulari come il "game of life" di Conway, l'internet, la borsa, le città, le tendenze della moda). Questi fenomeni sono il risultato di proprietà individuali dei costituenti (i neuroni, le "cellule" in un automa cellulare, o gli umani in un fashion-trend network), e dei complessi schemi di interazione tra questi. Attraverso la costruzione di artefatti secondo un approccio "bottom up", dalle componenti agli aggregati composti ai sistemi completi, le scienze sintetiche possono studiare le proprietà di un sistema completo e come queste proprietà dipendano dalle interrelazioni e dai comportamenti delle diverse componenti del sistema.

EXPLORATIONS IN ARCHITECTURE

DIDACTICS

La progettazione per emergenza enfatizza le relazioni tra le proprietà dei livelli alti e bassi di un sistema in maniera anche più decisa di quanto non lo faccia la metodologia sintetica. L'emergenza si manifesta in diverse forme.^{IV} [a] Il comportamento di un individuo è sempre emergente nel senso che è il risultato della interazione dell'individuo con il mondo reale. Di conseguenza, il comportamento non può essere completamente descritto attraverso meccanismi interni di controllo, ma dipende anche dalle condizioni morfologiche, materiali e ambientali. [b] Un organismo (o un artefatto dell'ingegneria) emerge da un processo evolutivo. Se questo processo segue i principi dell'evoluzione naturale, allora tutte le capacità dell'organismo sono proprietà emergenti da un processo guidato soltanto dal successo riproduttivo dell'organismo. [c] Un insieme di parti o una popolazione di agenti può mostrare un'emersione basata sulle regole locali di interazione. Ad esempio, le proteine assemblate in un corpo virale, l'architettura o un gruppo di uccelli auto-organizzati in uno stormo. Il comportamento dell'insieme del sistema non è la somma dei comportamenti individuali o delle sue parti costituenti – esso è interamente differente, sia quantitativamente che qualitativamente. Ad esempio, le società di insetti possono costruire strutture sofisticate per la vita in comunità nonostante le capacità cognitive limitate di ogni singolo insetto. Il fatto che il cervello umano possa essere cosciente è un altro esempio impressionante. Questa capacità ovviamente non è presente nei singoli neuroni del cervello.

E' impossibile definire una causalità analitica tra le proprietà locali e globali di un sistema emergente, perché esse si condizionano mutualmente l'una con l'altra: la struttura globale e i comportamenti sono il risultato dell'interazione dei componenti individuali i quali, a loro volta, sono influenzati dai modelli comportamentali globali. Sembra che molte delle impressionanti capacità dei sistemi naturali, come la loro capacità di adattamento, la solidità e la capacità di auto-riparazione e di riproduzione, siano il risultato di processi emergenti. Le implicazioni potenziali di queste intuizioni per la scienza e l'ingegneria possono difficilmente essere sopravvalutate. Affinchè la scienza studi i principi dei sistemi viventi e intelligenti, essa deve spostare l'ottica (almeno parzialmente) dal livello a cui questi fenomeni si manifestano – il modello di comportamento globale - ai livelli più bassi (cioè le proprietà materiali e morfologiche ed i principi fisici), anche se a prima vista, questi possono sembrare non correlati all'argomento di nostro interesse. Poiché il trattamento analitico dei fenomeni emergenti si è dimostrato molto difficile,

EXPLORATIONS IN ARCHITECTURE

DIDACTICS

gli scienziati hanno dovuto adottare una posizione empirica che si basi sull'osservazione, sulla sperimentazione, sui tentativi e sull'errore. Ciò significa che per capire come i cambiamenti in un sistema emergente influenzino il suo comportamento, uno scienziato deve inventare accorgimenti sperimentali e scenari all'interno dei quali il sistema possa evolversi col tempo. Solo all'interno di un simile accorgimento lo scienziato può testare le ipotesi sul comportamento di un sistema. Per esempio, egli può esaminare come la figura formata da un brulichio o da una moltitudine dipenda dalle possibilità sensitive di diversi agenti, o può studiare come la qualità e la diversità degli adattamenti evolutivi cambino in risposta ai livelli differenti di pressione selettiva. Per questo tipo di esperimenti, un metodo per "tentativi ed errori" è giustificato dal fatto che molti di questi rapporti non possono essere previsti, ma li si incontra in via del tutto casuale. "La prova e l'errore" possono servire da strategia per provare una gamma ampia di interdipendenze potenziali. Inoltre, tale metodo contribuisce a superare il preconetto e la polarizzazione dello scienziato.

Riguardo all'ingegneria, è chiaro che molte delle possibilità dei sistemi naturali precedentemente accennate, quali l'autonomia, la solidità e la capacità di affrontare situazioni inattese, sarebbero auspicabili anche per i sistemi artificiali (ad esempio i robot che interagiscono con gli esseri umani, o i veicoli per l'esplorazione extraterrestre). A causa dei principi dell'emergenza, è ovviamente difficile, se non impossibile, progettare tali manufatti seguendo una metodologia classica di ingegneria (cioè, partendo dalla parte superiore, dai requisiti pre-stabiliti ad alto livello e muovendosi verso i particolari di esecuzione del livello inferiore). Inoltre, la perizia dell'ingegnere e l'intuizione possono essere non soltanto di utilità molto limitata, ma potrebbero addirittura ostacolare la realizzazione delle proprietà desiderate nel manufatto. Per esempio, i metodi della classica ingegneria di controllo, estremamente efficienti in un ambiente industriale altamente controllato, non funzionano una volta applicati ai robot della costruzione che devono confrontarsi con il mondo reale. I cambiamenti nel mondo reale sono dinamici e solo parzialmente prevedibili e gli agenti al suo interno devono comportarsi facendo fronte all'incertezza. Per questo motivo, la progettazione tramite il metodo di emergenza prova inoltre a minimizzare la polarizzazione e i preconetti del progettista umano. L'utilità e i potenziali innovatori di questo metodo per l'ingegneria sono già stati dimostrati. Applicando i principi progettuali estratti dalla biologia e utilizzando le idee dell'evoluzione naturale con un interven-

EXPLORATIONS IN ARCHITECTURE

DIDACTICS

to umano minimo, sono stati creati manufatti che superano le possibilità delle loro controparti progettate dall'uomo.^v

Quando si progettano sistemi nel contesto della metodologia sintetica, uno scienziato deve decidere di norma tra una simulazione o un'esecuzione basata su un automatismo (robot). Dato che un approccio basato sulla sola simulazione comporta solitamente costi e investimenti di tempo ridotti, lo sviluppo dei robot potrebbe sembrare difficile da giustificare. Il comportamento tuttavia, quale fenomeno emergente, dipende in modo critico dalle interazioni agente-ambiente, che devono essere fisicamente realistiche. Nella simulazione è molto difficile riprodurre un comportamento fisicamente realistico. La ricchezza indefinita del mondo reale è la forza motrice principale dietro la diversità delle morfologie e dei comportamenti che osserviamo negli organismi biologici; una simulazione possiede soltanto quelle proprietà che sono state coscientemente e deliberatamente aggiunte. Quindi, qualunque esperimento basato sulla simulazione è ostacolato dall'assenza delle proprietà che non sono state implementate e che potrebbero essere cruciali per la manifestazione di un fenomeno emergente. Detto questo, è chiaro che le simulazioni rimangono un strumento indispensabile per la ricerca scientifica. Gli esperimenti che coinvolgono un grande numero di agenti d'interazione possono essere realizzati di norma solo attraverso la simulazione. Ciò è vero anche per i funzionamenti evolutivi che implicano co-adattamenti della morfologia e interventi di controllo. Per questo motivo, le sperimentazioni basate sulla robotica e sulla simulazione si completano reciprocamente e rimarranno i due metodi principali nella metodologia sintetica.

Per concludere, è importante notare come l'interazione di metodologie provenienti dalla scienza e dall'ingegneria abbia esteso significativamente la capacità esplicativa delle scienze. Le scienze naturali sono sempre state impegnate nello studio dei sistemi esistenti in natura, mentre le scienze sintetiche, che capitalizzano la comprensione mediante progettazione, hanno esteso il loro campo di indagine. Queste scienze non sviluppano più i manufatti come componenti del loro processo di ricerca per imitare i sistemi naturali, ma fanno piuttosto il contrario: molti dei robot e delle simulazioni risultanti non rappresentano affatto organismi esistenti in natura. Per questo motivo, le scienze sintetiche non sono più limitate allo studio dei sistemi naturali. Per parafrasare Christopher Langton, uno dei padri fondatori del campo della vita artificiale, le scienze sintetiche non studiano soltanto la "vita come effettivamente è", ma anche "la vita come potrebbe essere." Di conse-

EXPLORATIONS IN ARCHITECTURE

DIDACTICS

guenza, la comprensione mediante il metodo progettuale permette agli scienziati di acquisire un discernimento più profondo degli aspetti fondamentali della vita e dell'intelligenza, fatto questo che non sarebbe possibile se il loro campo di ricerca fosse limitato unicamente ai sistemi naturali. La comprensione mediante il metodo progettuale ha combinato gli sforzi delle scienze naturali e dell'ingegneria in un'impresa che aspira a delucidare il significato stesso dell'essere vivente ed intelligente, sconfinando in tal modo nel territorio della filosofia.

PROGETTI

I seguenti progetti aspirano a concretizzare l'applicazione della comprensione mediante la metodologia progettuale nel contesto dell'embodied AI. Si tratta di esempi selezionati per evidenziare l'effetto della metodologia su una vasta gamma di progetti e di attività.

LA MANO ROBOTICA

Il progetto di mano robot è utilizzato per studiare il rapporto fra la morfologia, le dinamiche intrinseche del corpo, la generazione della struttura delle informazioni attraverso attività senso-motorie e l'apprendimento.^{vi} La cosiddetta mano di Yokoi è realizzata in parte con materiali elastici, flessibili e deformabili. Il suo azionamento è basato su un sistema composto da muscoli e tendini ispirato dall'anatomia della mano umana. Inoltre, la mano robot imita alcune delle possibilità sensoriali dell'originale biologico: ogni dito è dotato di sensori per misurare la flessione, la rotazione e la pressione, mentre sul palmo e sul dorso della mano sono presenti alcuni sensori supplementari di pressione. Per controllare la mano robot, sono stati implementati meccanismi di apprendimento ispirati alla biologia, che permettono alla mano di esplorare le proprie possibilità di movimento. Correlando gli "input" dei sensori della mano ai relativi "output" motori, essa può anche imparare a maneggiare e ad afferrare gli oggetti. Il progetto della mano robot ha diversificato l'ottica iniziale della ricerca e sta dirigendosi attualmente verso la sua applicazione come dispositivo protesico. Per la protesica, è essenziale che l'interazione con l'arto artificiale sia naturale. Per afferrare, deve essere indotta una struttura di informazione che implica la necessità di risposte sensitive complesse. Gli esperimenti con la FMRI (Risonanza Magnetica Funzionale) mostrano come i pazienti forniscano risposte sensoriali, pur minime, ma correlate (ad es. stimolo elettrico alla pelle o vibrazione meccanica), ed

EXPLORATIONS IN ARCHITECTURE

DIDACTICS

integrino le protesi nel loro schema corporale abbastanza velocemente.^{vii} Questo progetto illustra come la metodologia sintetica e le nozioni di morfologia e di informazione auto-strutturante giovi ai sistemi attivi e possa fornire indicazioni in relazione a come aumentare l'“intelligenza” senso-motoria di un sistema uomo-macchina.

AUTO-ASSEMBLAGGIO ROBOTICO

L'obiettivo di questo progetto è realizzare l'auto-assemblaggio e l'auto-riparazione in un sistema robotico auto-organizzato che consiste di molti moduli.^{viii} L'Auto-assemblaggio è un processo attraverso il quale una struttura organizzata si forma spontaneamente a partire da elementi semplici. Malgrado il fatto che questo processo cruciale sia ubiquito in natura, si conosce poco sui suoi meccanismi di fondo e non sono stati dedicati molti sforzi all'estrazione dei principii di progettazione di più alto livello. Traendo ispirazione dagli esempi biologici di auto-assemblaggio, abbiamo progettato e sviluppato una serie di sistemi robotici modulari costituiti da “mattonelle” di plastica autonome di 1 centimetro ciascuna capaci di aggregarsi sulla superficie dell'acqua. Un singolo modulo, denominato “Tribolon”, è formato semplicemente da una figura di gomma spumata e da un piccolo vibratore. L'alimentazione del vibratore è fornita tramite un'antenna che tocca il soffitto di alluminio, collegata ad un gruppo di alimentazione. I magneti fissati ai moduli li fanno attrarre o respingere a vicenda. La vibrazione induce i moduli a muoversi e in funzione della figura dei moduli, emergono comportamenti differenti, come il raggruppamento e la rotazione. Partendo dalla nostra esperienza di progettazione, costruzione e controllo di sistemi modulari macroscopici, speriamo di poter dedurre le conclusioni sul livello di autonomia necessario per realizzare l'auto-assemblaggio. Il nostro approccio sintetico segue il principio biologico per il quale i componenti si auto-costruiscono negli organismi in un modo del tutto “bottom-up”.

ROBOT EDUCATIVI

Il DREAM (*Development of a Robot kit for Education, Art, and More* - Sviluppo di un robot educativo per l'arte ed altro) punta a sviluppare un kit robotico educativo, composto da un software, un hardware e da materiale didattico, che aiuti, sia gli esperti che i non esperti di intelligenza artificiale, nella comunicazione dei principi concettuali e metodologici dell'embodied AI. Questo kit intende favorire i metodi creativi ed integranti con un approccio educa-

EXPLORATIONS IN ARCHITECTURE

DIDACTICS

tivo costruttivo^{ix} che permetta agli allievi di imparare sviluppando e costruendo i manufatti.

Il progetto DREAM si fonda sulle numerose attività educative del AILab. Ad esempio, la partecipazione al network *Roberta*, che punta a sviluppare un programma di formazione robotico che guarda specificamente gli interessi delle ragazze.^x L'AILab inoltre porta avanti un'attività didattica nell'ambito di un'iniziativa promossa da *bugnplay.ch*, una competizione rivolta a ragazzi tra gli undici ed i venti anni nel settore dell'arte, dei media e della tecnologia, e organizzata da "MIGROS kulturprozent". Queste attività sono basate sulla nostra convinzione che i concetti di ricerca dell'embodied AI non sono interessanti solo per la comunità scientifica di questo campo specifico, ma hanno implicazioni ampie per la ricerca scientifica e l'ingegneria in generale. Inoltre, abbiamo osservato che la metodologia sintetica è molto appropriata ad un contesto educativo, in quanto contribuisce ad ispirare e a mantenere un alto livello di motivazione negli allievi e può trasmettere persino concetti molto astratti in un modo comprensibile e concreto.^{xi} Contrariamente ai kit educativi esistenti, il kit DREAM intende promuovere i principi e le metodologie della ricerca sulla intelligenza artificiale incorporata, che sono centrali per la comprensione mediante il metodo progettuale. Di conseguenza, il kit darà risalto all'ingegneria "bottom-up" e alla progettazione per emergenza. Crediamo che questi concetti favoriscano la ricerca di nuove strategie di risoluzione dei problemi e siano utili fonti di ispirazione per chiunque sia coinvolto nella risoluzione di problemi e nei processi decisionali nel nostro mondo altamente dinamico e complesso, ma soltanto parzialmente prevedibile.

INSTALLAZIONE DI ARTE ROBOTICA

Il progetto *HairMotion* è una collaborazione fra uno degli autori e l'artista Valerie Bugmann. Il progetto mira a realizzare un'installazione interattiva che serve da ambiente sperimentale per la comunicazione non-verbale. I robot sono statici e la loro espressione avviene mediante respirazione dei loro polmoni artificiali e animazione pneumatica dei loro capelli. Posti in cerchio e rivolti verso uno spazio interno che può accogliere un ospite, i robot sono capaci di percepire la presenza ed i movimenti dell'ospite all'interno di questo spazio attraverso un sistema di rilevamento basato sulla visione. Il grado di reattività e di autonomia dei robot cambia, e a seconda dei movimenti dell'ospite, i robot transitano attraverso periodi di sincronizzazione, di correlazione e di indipendenza. Lo scenario incita gli ospiti ad entrare in un dialogo di

EXPLORATIONS IN ARCHITECTURE

DIDACTICS

movimenti con i robot, allo scopo di identificare gli elementi ricorrenti di interazione. In questo modo, l'installazione dà vita a uno spazio di sperimentazione che permette agli ospiti di creare e verificare le caratteristiche sintattiche e semantiche di un linguaggio non verbale, basato sul movimento.

EXPLORATIONS IN ARCHITECTURE

DIDACTICS

- I Rolf Pfeifer e Christian Scheier, *Understanding Intelligence* (Cambridge, MA: MIT Press, 1999).
- II Rolf Pfeifer e Josh Bongard, *How the Body Shapes the Way We Think: A New View of intelligence* (Cambridge, MA: MIT Press, 2007).
- III Kenneth J. W. Craik, *The Nature of Explanation* (Cambridge University Press, 1943).
- IV Pfeifer e Bongard, *How the Body Shapes the Way we Think*.
- V John R. Koza, Martin A. Keane, Jensen Yu, Forrest H. Bennett e William Mydlowec, "Automatic Creation of Human-Competitive Programs and Controllers by Means of Genetic Programming," *Genetic Programming and Evolvable Machines* 1 n. 1-2: 121-164.
- VI Gabriel Gómez, *Adaptive Learning Mechanisms for Autonomous Robots*, tesi di Phd, Facoltà di matematiche e scienze, Università di Zurigo, 2007. Gabriel Gómez, Alejandro Hernandez-Arieta e Peter Eggenberger Hotz, *An Adaptive Neural Controller for a Tendon Driven Robotic Hand*, atti della 9th conferenza sui sistemi autonomi intelligenti (Tokyo: IOS Press, 2006), 298-307. Gabriel Gómez, Max Lungarella e Danesh Tarapore. *Information-Theoretic Approach to Embodied Category Learning*, atti del 10th Simposio internazionale sulla vita artificiale e la robotica, AROB 10 (Beppu, Giappone, 2005) 332-337.
- VII Alejandro Hernandez-Arieta, Konstantinos Dermitzakis, Dana Damian, Max Lungarella e Rolf Pfeifer, "Sensory-motor Coupling in Rehabilitation Robotics," *Service Robotics* (in corso di stampa).
- VIII Shuhei Miyashita, Maik Hadorn e Peter Eggenberger Hotz, "Self-Assemble of Water Floating Active Units," IEEE International Conference on Mechatronics (Harbin, 2007); Shuhei Miyashita, Marco Kessler e Max Lungarella, "How Morphology Affects Self-Assembly in a Stochastic Modular Robot," IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA08 (Pasadena CA, 2008).
- IX Mitchel Resnick, "Distributed Constructionism," atti della Conferenza internazionale delle Scienze dell'Apprendimento (Evanston Il: Northwestern University, 1996), 280-284.
- X Monika Müllerburg, Ulrike Petersen e Gabi Theidig, "Roboter in Bildung und Ausbildung," in *FINUT-28. Kongress von Frauen in Naturwissenschaft und Technik*, ed. M. Calm (Darmstadt: FIT-Verlag, 2002): 227-234; Ulrike Petersen, Monika Müllerburg e Gabi Theidig, «Girls and Robots: A Promising Alliance» *ERCIM News* 53 (Aprile 2003): 32-33.
- XI Chandana Paul, Verena Hafner e Josh C. Bongard, *Teaching New Artificial Robots*, GMD Workshop on Edutainment Robots (Sankt Augustin, Germania 2000).