

ROBOTICA ANTICA E ROBOTICA MODERNA

**UN'ESPERIENZA DIDATTICA TRA
ERONE DI ALESSANDRIA**

E

ICUB DELL'IIT

(ISTITUTO INTERNAZIONALE DI TECNOLOGIA)

Liceo Classico C.Colombo a.s. 2013-2014

ERONE DI ALESSANDRIA (I SECOLO D.C.)

- **BERNARDINO BALDI. PRIMA TRADUZIONE ITALIANA DELL'OPERA *PNEUMATICA* E DELL'OPERA *AUTOMI DI ERONE (SULLA COSTRUZIONE DI AUTOMI, VENEZIA, 1589)***
- Il testo di Erone (matematico ed ingegnere di Alessandria d'Egitto) è una sorta di manuale di istruzioni per costruire meccanismi che permettano di mettere in moto figurine (*zodia*), costruite in materiali leggeri, per esempio legno o metalli leggeri. L'insieme di questi movimenti crea una disposizione scenica da esibire davanti al pubblico e una successione di queste scene o quadri può consentire di rappresentare un *mythos*, una storia scandita come una successione di eventi, quasi una sorta di teatrino meccanico. Erone distingue due tipi fondamentali di automi: 1 mobili: che permettono una vera *epideixis*, ovvero rappresentazione teatrale di un atto unico, in cui la scena non cambia e neppure i personaggi (modello del carillon) e 2 statici: che permettono una successione di più atti, ciascuno dei quali è caratterizzato da una differente scenografia.
- In entrambi i casi la forza motrice è data da un peso che può scorrere come pistone in un cilindro. I movimenti che potevano essere messi in scena erano: a) movimenti di oggetti inanimati senza che sia visibile un agente, ovvero apertura e chiusura di porte, zampillare di liquidi, accendere e spegnersi di fuochi, b) movimenti di oggetti animati, ovvero figurine di uomini e animali che con parti del loro corpo azionano altri oggetti, come strumenti di lavoro, dando origine anche a suoni (modello presepe meccanico), c) locomozione di figurine, cioè spostamenti di luogo con la totalità del corpo che resta rigido. Qual era la finalità di queste macchine? I meccanismi di Erone erano riproducibili e costruiti con l'obiettivo di dare luogo a scene sempre diverse per continuare a tenere desta la **meraviglia** degli spettatori. I meccanismi sono riproducibili, ma lo scopo della riproducibilità è l'**unicità** dei risultati che essi di volta in volta permettono di raggiungere, non la ripetizione seriale indefinita dello stesso risultato. E' decisiva la riuscita eccezionale, secondo uno schema categoriale caro al mondo greco e per cui le classificazioni della meccanica sarebbero due: una ordinaria che riguarda la costruzione di macchine belliche, pulegge, macchine per attingere acqua, leve e tutte le macchine utili e l'altra la cosiddetta *thaumatopoiiké*, ovvero la costruzione di *thaumata* o cose stupefacenti (si vedano Pappo, matematico del III secolo d.C., e Proclo, filosofo neoplatonico, V secolo d.C.).

- Nella *Meccanica* pseudo-aristotelica si legge comunque che anche le macchine utili possono destare meraviglia. Tale meraviglia non è sfuggita al primo traduttore italiano di Erone, Bernardino Baldi, 1589 che così scrive nella sua prefazione al libro degli *Automi*: “(la meraviglia) nasce dal veder alcun effetto non solito, giudicato impossibile, e del quale non si sappia la cagione, e tali appunto sono gli effetti prodotti da queste macchine, e di qui è che quando uno di questi giunge in una città, concorrono le genti a popolo, e per vedere non si curano di spesa di danaio”. Erone affermava che i suoi contemporanei apprezzavano gli *automata* per l'*ekplekton*, ovvero “ciò che colpisce”, poiché inatteso alla vista, cioè alla *theoria* ed è questo il motivo per il quale i costruttori di congegni erano chiamati *thaumatourghoi*, costruttori di *thaumata* (I, 1 e 1,7). Erone era consapevole di non essere stato il primo a scrivere sugli automi e cita a proposito Filone di Bisanzio del III secolo a.C. Si possono citare anche il “meccanico” Archita di Taranto (citato da Aulo Gellio, *Noctes Atticae* 10, 12,9) e per esempio nel mondo latino un episodio del *Satyricon* di Petronio collocato all'interno della *Cena di Trimalcione* e che descrive dei soffitti che si aprono autonomamente per stupire i commensali ed un altro sempre nella celebre *Cena* del *Satyricon* che riferisce di una figurina d'argento che muove le sue piccole membra tirando o allentando un filo. La matrice della meraviglia si può individuare senza dubbio nella imitazione, in quanto il fatto che entità inanimate compissero movimenti ed azioni proprie ad esseri viventi animati costituiva la vera cifra dello stupore. Aristotele nel primo libro della *Politica* afferma che plettri che suonano da soli e spole che tessono sotto comando non possono esistere, poiché se così fosse coloro che sovrintendono ai lavori non avrebbero bisogno di coloro che li eseguono, né i padroni avrebbero bisogno degli schiavi. E la situazione impossibile in cui il lavoro servile è sostituito da automi è rappresentata proprio da un mondo mitico-fantastico, non certo reale, ovvero le creazioni di Efesto e di Dedalo. Nell'*Illiade* si legge che Efesto comandava ai mantici di lavorare e questi obbedivano e si mettevano a soffiare sul fuoco (*Il.*, XIII, 468-473). Gli automi sono persone artificiali e la mitologia greca abbonda di esempi interessanti: l'eroe Cadmo che seppellisce i denti di drago da cui nascono guerrieri, la statua di Pigmalione che rappresenta la ninfa Galatea e prende vita, le statue mobili di Dedalo, il mostruoso gigante di bronzo Talos, una sorta di robot cretese che, come un ciclope, scaglia pietre contro chi non rispetta le leggi di Minosse. Sempre secondo Aristotele e più precisamente in base ad una tesi centrale del suo pensiero la *techne* imita la *physis*, ovvero la tecnica simula i processi naturali e dà luogo ad oggetti simili a quelli della natura, quindi gli *automata* potevano davvero apparire come la realizzazione del teorema che la tecnica imita la natura ed il trattato di Erone, circa più di trecento anni dopo Aristotele, insegnava come costruirli.

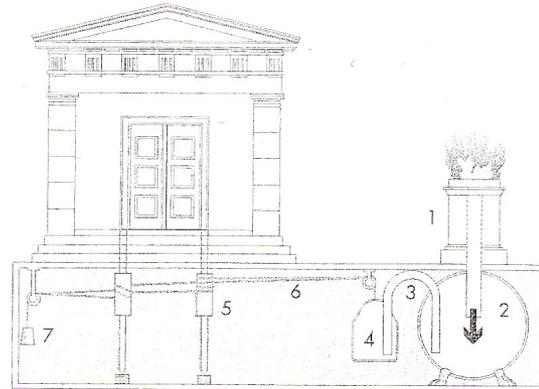
- **Piccolo lessico:** *Automa*, letteralmente dall'aggettivo *automatos* (*autos* e *memona*, perfetto del verbo *maino*, agitarsi e poi essere folle, ma soprattutto essere pieno di slancio), che si muove da sé, che agisce di proprio impulso. *Techne* affine alla radice del verbo *tektaino* = costruire e a *teknon* = falegname. Cfr. il latino *ars* (corrispondente di *techne*), *artifex*, *articulum*. *Technites* è l'artigiano esperto, il perito, l'artista, mentre per *banausos* si intende l'artigiano come lavoratore manuale con connotazione neutra e molto spesso negativa (in contrapposizione alle attività intellettuali). *Polymechanos*, pieno di risorse, dotato di capacità inventiva. Spesso epiteto di Odisseo. *Robot*, termine introdotto dallo scrittore ceco Karel Čapek che la utilizzò nel suo dramma *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)* nel 1920. Esso deriva dal ceco *robota* (che ha la stessa radice del russo *rabota*) che significa lavoro pesante. Il termine derivato *robotica* è stato introdotto da Isaac Asimov nel racconto *Circolo vizioso (Runaround, 1942)*, poi inserito nella raccolta *Io, Robot*.
- **Robotica industriale:** che riguarda i robot industriali, ovvero macchine riprogrammabili che possiedono vari gradi di libertà d'azione, ma in ambienti limitati e strutturati e senza sensori. **Robotica di servizio** robot artificieri militari, robot astronautici, sottomarini, medici e per assistenza sanitaria e di utilità domestica).
- **Bibliografia essenziale di riferimento**
- Lucio Russo, *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*, Milano, Feltrinelli, 2001
- Ivano Dionigi (a cura di), *I Classici e la Scienza. Gli antichi, i moderni, noi*, Milano, Rizzoli, 2007 (in particolare: Giuseppe Cambiano, Paolo Dario, *Erone. Gli automi e Un nuovo ingegnere rinascimentale*, pp.245-265).
- Filoteo Sorge, *Preistoria robotica*, Olimpia, 2002

ERONE *PNEUMATICA* I 38

(Traduzione Marco Martin)

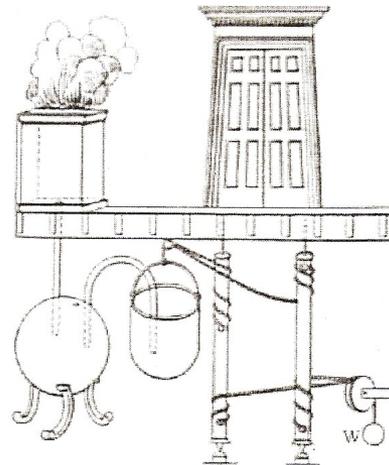
- Struttura di un tempietto, in modo tale che quando avviene un sacrificio le porte automaticamente si aprano e, concluso il sacrificio, di nuovo esse si chiudano. Sia dunque il predetto tempietto su una base ABCD, sulla quale sia collocato un piccolo altare ED. Attraverso il piccolo altare sia posta una condotta HZ, l'imboccatura della quale Z sia posta dentro all'altare, mentre l'altra H sia immersa dentro ad una sfera e sia posta poco lontana dal centro di essa.
- La sfera sia ostruita dalla condotta HZ. Vi sia anche un sifone curvato KLM nella sfera. I cardini delle porte si stendano fino alla parte inferiore e girino scorrevolmente nei piccoli assi che sono posti alla base ABCD. Dai cardini vi siano delle catenelle ed esse siano ben legate e attaccate ad un contenitore vuoto appeso attraverso una puleggia. Le altre catenelle avvolte ai cardini siano legate di fronte a quelli di prima ad un peso di piombo anch'esso attaccato per mezzo di una puleggia, per mezzo della quale puleggia che viene lasciata cadere le porte saranno chiuse.
- Il sifone KLM dunque abbia l'estremità esterna che arriva fino al vaso appeso. Sia gettata dell'acqua attraverso un foro P nella sfera, fino a che non si riempie per metà e poi l'estremità sia chiusa dopo che l'acqua è stata versata.
- Accadrà dunque che mentre il fuoco del sacrificio brucia l'aria riscaldata sull'altare si diffonde in uno spazio maggiore. Questa attraverso la condotta HZ, andando verso la sfera spinge via il liquido in essa attraverso il sifone KLM nel vaso appeso, che appesantito farà girare le catenelle e aprirà le porte. Di nuovo, spento il fuoco, l'aria rarefatta passerà attraverso le fessure della parete della sfera.
- Il sifone curvato trascinerà l'acqua del vaso appeso tanto da riempire lo spazio delle fessure separate. Sarà infatti la cima di esso immersa nell'acqua del vaso appeso.
- Alleggerito così il vaso, di nuovo il peso appeso dopo avere fatto un giro chiuderà le porte. Alcuni poi usano invece dell'acqua l'argento vivo, poiché è più pesante dell'acqua e si scioglie più facilmente a causa del caldo.

Macchina di Erone per aprire le porte di un tempio



Porte di un tempio ad apertura automatica

Inventato da Erone di Alessandria, questo dispositivo permetteva l'apertura e la chiusura automatica delle porte di un tempio grazie all'accensione di un fuoco su un altare. Sotto l'altare (1) era posta una sfera parzialmente riempita d'acqua (2). Grazie al calore del fuoco, la pressione all'interno della sfera aumentava sino a fare fuoriuscire l'acqua che, passando per un sifone (3), andava a riempire un contenitore (4). Sfruttando la tensione di un cavo (6) collegato a un contrappeso (7), l'aumento di peso del contenitore faceva girare i cardini a vite delle porte (5).



Erone, il precursore (II sec d.C)

La prima intuizione della forza del vapore si incontra in un testo di un meccanico Alessandrino del II sec d.C.: Le pneumatiche di Erone. Le utilizzazioni del vapore proposte da Erone sono molteplici e vanno da un teatro automatico, nel quale, all'accensione del fuoco, alcune marionette si muovono, fino ad un sistema per sollevare l'acqua. Nelle macchine di Erone, concepite a scopo sacrificale o di puro divertimento, senza cenni di applicazioni pratiche, restano costanti due principi: la dilatazione del vapore e la sua condensazione in un sistema chiuso, lo sfruttamento del principio di reazione, una caldaia nella quale un piccolo foro lascia sfuggire il vapor, base della turbina.

Dispositivo per aprire e chiudere le porte
Erone - II sec d.C.

Νάσκου κατασκευή, ὥστε θυσίας γυνομένης τὰς θύρας ἀντομέτως ἀνοίγεσθαι, σβεσθείσης δὲ τῆς θυσίας πάλιν κλείεσθαι.

Ἔστω ὁ προειρημένος νάσκος ἐπὶ βάσεως τῆς $ΑΒΓΔ$, ἐφ' ἧς ἐκικέσθω βομίσκος ὁ $ΕΔ$ · διὰ δὲ τοῦ βομίσκου διάσῳ σολῆν ὁ $ΗΖ$, οὗ τὸ μὲν Z

ἴσῳν διὰ τοῦ $ΚΑΜ$ σολῆνος. καὶ πρῶτον μὲν πληρωθήσεται ὁ ὀσῶς ὑδατος· εἶτα ἐκχυθήσεται εἰς τὸ λουτηροῖδιον· τὸ δὲ ἐγγυθὲν ἐν αὐτῷ ὑδωρ φερόμενον πάλιν εἰς τὸ $ΓΒ$ ἄγγειον ἐκθλίψει ὁμοίως τὸν ἐν αὐτῷ ἄερα, ὅς δὴ πάλιν τὸ ἐν τῷ $ΑΔ$ ἄγγειῳ ὑδωρ ἐκθλίψει εἰς τὸν ὀσῶν καὶ εἰς τὸ λουτηροῖδιον· καὶ τοῦτο ἀεὶ γενήσεται, ἕως ἐν κενωθῆῃ τὸ ἐν τῷ $ΑΔ$ ἄγγειῳ ὑδωρ. δεήσει δὲ τὸν $ΚΑΜ$ σολῆνα λεπτότατον παντάπασιν ὑπάρχειν ἕνεκα τοῦ τὴν ἐπίδειξιν ἐπὶ πλείονα χρόνον παραμένειν.

176 ΗΡΩΝΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΩΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ Α.

στόμιον ἐντὸς ἑσῶ τοῦ βομίσκου, τὸ δὲ $Η$ ἐν σφαίρᾳ τινὲ περιελήφθω τῇ $Θ$ ἀπέχον ἀπὸ τοῦ κέντρου αὐτῆς βραχύν· συνστεγνώσθω δὲ καὶ ἡ σφαίρα τῷ $ΗΖ$ σολῆνι. ἔστω δὲ καὶ ἐν τῇ σφαίρᾳ κεκλυλός

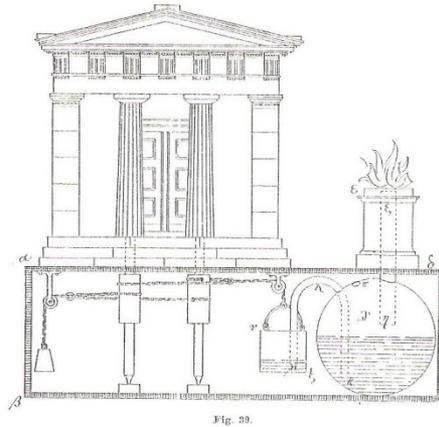


Fig. 23.

σίφων ὁ $ΚΑΜ$. οἱ δὲ στροφεῖς τῶν θυρῶν παρεκτε-
 τάσθωσαν εἰς τὸ κάτω μέρος καὶ στερεωθῶσαν ἐν
 κνωσκίοις οὖσαν ἐν τῇ $ΑΒΓΔ$ βάσει ἐδλίτως. ἐκ δὲ
 τῶν στροφῶν | ἄλυσείδια εἰς ἕν ἀποδεθέντα διὰ τρο-
 χίλου ἀποδεθέντω εἰς ἄγγειον κοίλον τὸ $ΝΞ$ κρεμά-

178 ΗΡΩΝΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΩΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ Α.

μενον ἕτερα δὲ ἄλυσείδια ἐπιληθέντα πρὸς τοὺς
 στροφεῖς τὰ ἐναντία τοῖς πρῶτον εἰς ἕν ἀποδεθέντα
 διὰ τροχίλου εἰς βέλος μοιβῶν ἀποδεθέντω, δι' οὗ
 καταρρέοντος ἀποκλεισμένα ἔσονται αἱ θύρας. ὁ
 δὲ $ΚΑΜ$ σίφων τὸ ἐκτὸς σκέλος ἔχτω φέρον εἰς τὸ
 κρεμαστὸν ἄγγειον. ἐμβεβλήσθω δὲ διὰ τινος τροπή-
 ματος τοῦ $Η$ ὑδωρ εἰς τὴν σφαίραν, ὥστε δι' ἡμίσους
 γενέσθαι, ὃ μετὰ τὴν ἐγγυθιν ἐστιγνώσθω. συμβή-
 σεται οὖν τοῦ πνεὸς θυμαθέντος θερμαινόμενον τὸν
 ἐν τῷ βομίσκῳ ἄερα χεῖσθαι εἰς πλείονα τόπον· οὗτος
 δὲ διὰ τοῦ $ΗΖ$ σολῆνος εἰς τὴν σφαίραν χωρῶν ἐκ-
 θλίψει τὸ ἐν αὐτῇ ἴσῳν διὰ τοῦ $ΚΑΜ$ σίφονος εἰς
 τὸ κρεμαστὸν ἄγγειον, ὃ δὴ καταβροῆσαν ἐπισπάσεται
 τὰ ἄλυσείδια καὶ ἀνοίξει τὰς θύρας, πάλιν δὲ σβε-
 σθέντος τοῦ πνεὸς ὁ μὲν λεπυρωθεὶς ἄηρ ἐκχωρήσει
 διὰ τῶν ἀραιωμάτων τοῦ τεύχους τῆς σφαίρας. ὁ δὲ
 κεκλυλός σίφων ἐπισπάσεται τὸ ἴσῳν τὸ ἐκ τοῦ κρε-
 μαστοῦ ἄγγειου, ὥστε ἐναπληρώσεται τὸν τῶν ἐκκρι-
 θέντων ἀραιωμάτων τόπον· ἔσται γὰρ αὐτοῦ τὸ ἕκρον
 βεπιζόμενον εἰς τὸ ἐν τῷ κρεμαστῷ ἄγγειῳ ὑδωρ.
 κωμωθέντος δὲ τοῦ ἄγγειου πάλιν τὸ ἐκκρεμῆμενον
 βέλος καταρρέσαν κλείσει τὰς θύρας. ἔτι δὲ ἀντὶ
 ὑδατος ὑδραγωγῆσιν χρῶνται, ἐπειδήπερ βρογντέρος
 ἐστὶ τοῦ ὑδατος καὶ ἐκκόπος ἐπὶ τῆς θερμότητος
 λύεται.

L'IT AL LICEO COLOMBO IN CLASSE CON IL ROBOT CHE SCOVA GLI ERRORI

Lo scienziato Alberto Diaspro presenta agli studenti "iCub" che ragiona e impara controllare il proprio corpo. «Come un laboratorio continuo»

PAOLO CAVALLO

Poco meno di duemila anni fa Erone di Alessandria, matematico e fisico di intelligenza sopraffina, ma soprattutto scienziato curioso della natura, costruisce la prima macchina a vapore che apre e chiude da sola le pesanti porte del tempio di Serapide, il dio greco-egiziano della divinazione. Erone comprende che scaldando l'acqua e producendo vapore, esso è capace di sviluppare una grande forza spostando pesi. E questa macchina diventa una specie di automa, in grado di svolgere il suo compito senza mai stancarsi.

Di fronte agli studenti del liceo classico "Colombo" di Genova, che partecipano al progetto del *Giornale in classe* del *Secolo XIX* affidati dal dirigente scolastico Enrico Bado alla guida del professor Marco Martin, che da anni cura nei licei la realizzazione di moduli didattici dedicati alla divulgazione del sapere scientifico nel mondo greco-romano, lo scienziato Alberto Diaspro, direttore del dipartimento di Nanofisica dell'Istituto Italiano di Tecnologia, che ha sede a Morego, sulle alture di Bolzaneto, comincia una lezione affascinante e al tempo stesso diversa da quelle solite.

Si parte dalla macchina di Erone per arrivare a iCub, un robot umanoide, alto poco più di un metro e pesante circa 25 chilogrammi, sviluppato da un gruppo di scienziati dell'IIT e diventato uno dei fiori all'occhiello di questo importante istituto di ricerca, che ha sede a Genova e che negli ultimi cinque anni ha raggiunto



Due momenti dell'incontro dello scienziato Diaspro dell'IIT con gli studenti del liceo classico Colombo di Genova che hanno conosciuto il robot "iCub"



traguardi importanti riconosciuti a livello internazionale, aumentando la sua capacità di attrarre scienziati da tutto il mondo (sono ormai oltre mille e 200).

Il robot iCub è una specie di "laboratorio continuo", sul quale si continua a fare studio e ricerca. Soprattutto, iCub è un robot che continua a imparare, guidato amorevolmente dal professor Giorgio Metta e dal suo gruppo di lavoro. Il piccolo robot (ne sono stati costruiti dall'IIT venti esemplari e molti sono stati affidati

ad altri centri di ricerca nel mondo, per imparare compiti diversi e sviluppare nuovi progetti) è in grado di cominciare a ragionare da solo, sulla base della propria esperienza. Controlla il suo corpo, si muove restando in equilibrio, esplora l'ambiente intorno a lui, lo spazio e le cose.

Il professor Diaspro racconta che le difficoltà maggiori incontrate dal professor Metta sono state quelle di far riconoscere a iCub le sue mani e il movimento rispetto allo spazio circostante. In seguito, iCub ha comin-

ciato a muoversi con sicurezza e a compiere le prime azioni coordinate. Oggi il piccolo robot che parla genovese è "cresciuto" molto. Reagisce alle voci e costruisce da solo una memoria delle cose e degli oggetti che incontra; osserva ciò che viene sottoposto alla sua attenzione, ne fotografa i particolari, la forma, il colore e impara a prendere gli oggetti. Quando commette un errore è in grado di correggersi. La lezione suscita una serie di domande: quanto dura la memoria di iCub? Per imparare tutto

deve avere un "cervello" enorme? Non si stanca mai di apprendere, non si stufa e non ha bisogno di "staccare la spina"? La capacità di iCub di apprendere è infinita perché nel suo "cervello" ci sono neuro cellule capaci di stimolare la memoria sulla base dell'esperienza. Per questo non c'è bisogno di un "cervello" enorme. La fase di apprendimento è continua e iCub non si stanca mai di ripetere la stessa azione, fino a ottenere il risultato giusto e allora essere capace di ripetere quella esperienza.



IIT si racconta...

Ciclo di caffè scientifici

Una serie di nove incontri con
l'obiettivo di far conoscere ai cittadini il
mondo della ricerca e i suoi protagonisti

3° stagione
Ottobre 2013 - Giugno 2014

Inizio incontri: ore 18,30

in collaborazione con



istituto
italiano di
tecnologia



Camera di Commercio
Genova



Genova
Palazzo Ducale
Fondazione per la Cultura



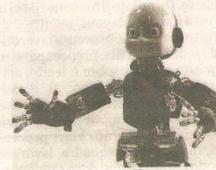
ASCOM
Cavalieri del Mare
GRUPPO GIOVANI
GENOVA

A PALAZZO DUCALE

IL ROBOT BAMBINO ICUB E L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

IL NUOVO appuntamento del caffè scientifico dell'Istituto italiano di tecnologia si terrà giovedì nella sala del Maggior Consiglio di Palazzo Ducale, alle 18.30. L'incontro vedrà protagonista Giorgio Metta, direttore dell'iCub Facility dell'Iit, insieme ad iCub, il robot bambino, fiore all'occhiello dell'istituto.

L'appuntamento dal titolo "Costruendo l'intelligenza per robot umanoidi" tratterà diversi aspetti dell'evoluzione dello studio dell'intelligenza artificiale nei robot umanoidi. In particolare, verrà ripercorsa la radicale trasformazione attuata negli ultimi trenta anni in questo specifico settore di ricerca, riflesso di una migliore comprensione del funzionamento dei processi cognitivi dell'uomo e della loro connessione con la fisicità del corpo umano. Durante l'incontro



Il robot iCub

Metta proverà come l'osservazione della natura abbia ispirato la costruzione di alcune delle componenti intelligenti del robot umanoide iCub e dimostrerà perché concepire un robot con un corpo umanoide è oggi necessario per costruire un'intelligenza artificiale equiparabile a quella umana.

IL SECOLOX 4/12/13