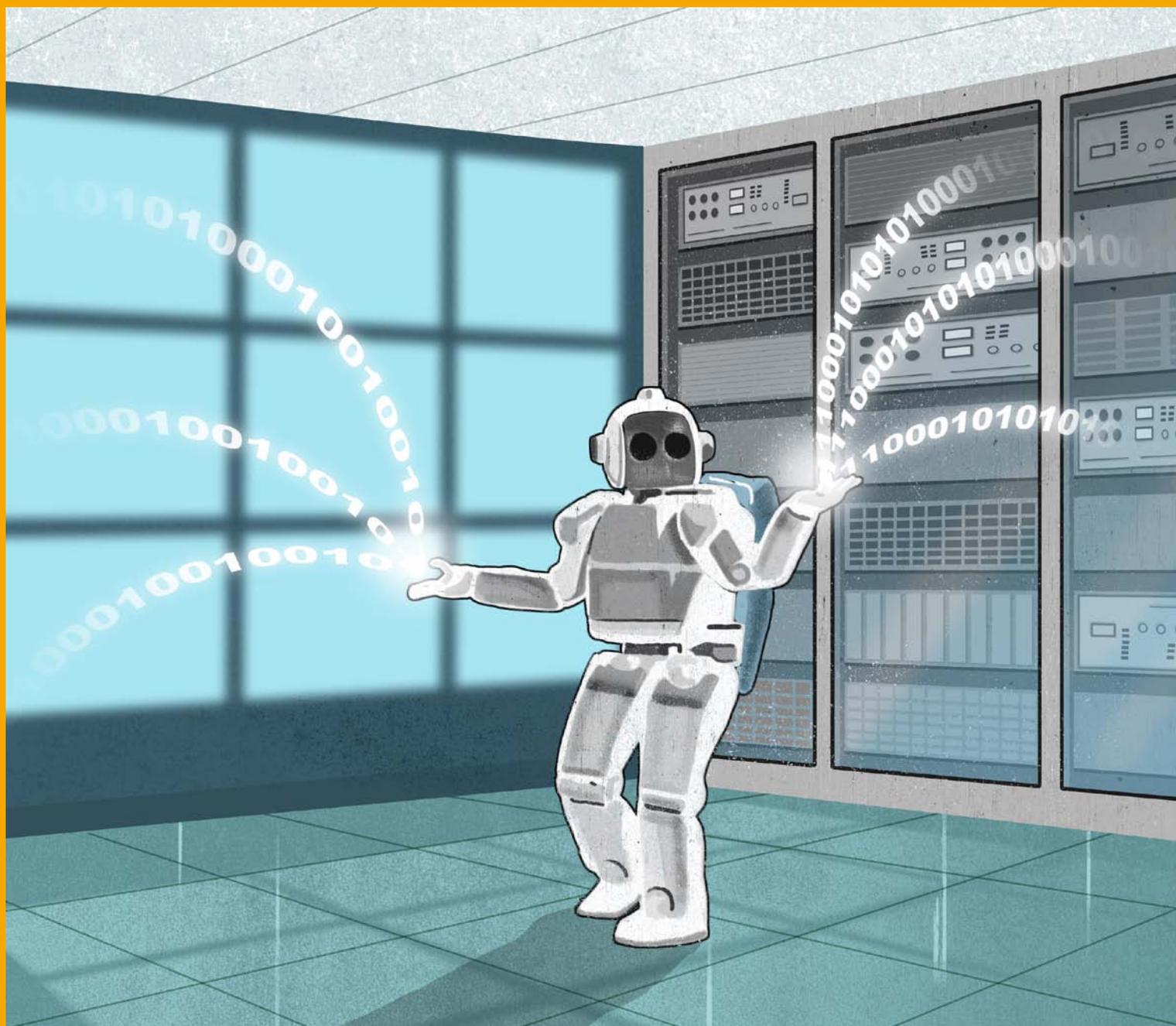


LE PROSPETTIVE DELLA ROBOTICA

Roberto Antonini, Gianpiero Fici, Marco Gaspardone



L'interesse crescente di colossi come Google e Amazon e l'emergere di molte promettenti piccole realtà come iRobot e Willow Garage porta alcuni analisti ad affermare che la tecnologia sia matura a sufficienza da permettere di pensare che la Robotica Personale possa essere *"The Next Big Thing After Mobile"*.

Sarà vero? Questo articolo si propone di fornire un quadro degli ultimi risultati nell'ambito della robotica e di presentare le attività che la ricerca di Telecom Italia sta portando avanti in questo campo.

1 L'evoluzione dei Robot

Per presentare lo stato attuale della robotica, tracciamo una sintetica storia evolutiva dei robot.

1.1 Le origini

Il termine "robot" viene utilizzato per la prima volta nel 1920 nell'opera teatrale R.U.R. [2] (Rossum's Universal Robots) dello scrittore ceco Karel Čapek (1890-1938) [1]. In questo dramma fantascientifico i robot sono esseri sintetici creati per sostituire l'uomo nei lavori manuali (la parola ceca *robot* significa lavoratore forzato, nel senso feudale di servitore) che si rivoltano contro l'uomo. L'opera di Čapek, come altri lavori dello stesso periodo (vedi, ad esempio, il film *Metropolis* [3] di Fritz Lang del 1927 o il romanzo *Brave New World* di Aldous Huxley [4] del 1931), esprime la preoccupazione degli intellet-

tuali dell'epoca di fronte all'avanzare del progresso, ma fornisce anche un segno di speranza nel momento in cui, nell'epilogo del dramma, una coppia di robot, Primus ed Helena, dimostrano di aver sviluppato essi stessi dei sentimenti e si avviano a dare origine ad una rinnovata umanità, come novelli Adamo ed Eva.

I robot descritti nel dramma di Čapek sono in realtà quello che oggi chiameremmo replicanti (come quelli descritti nel romanzo *Do Androids Dream of Electric Sheep?* di Philip K. Dick [5] e rappresentati nel film *Blade Runner* [6] di Ridley Scott), perché sono esseri artificiali creati in fabbrica sulla base di un sostituto chimico del protoplasma (derivato da studi sulla biologia marina) e muoiono dopo vent'anni di utilizzo. Ma tant'è, il termine si è diffuso universalmente come la definizione di "macchina automatica talvolta dotata di organi equivalenti agli arti umani, capace di svolgere alcune funzioni o attività proprie dell'uomo" [7].

Tuttavia, anche prima che fosse adottato il termine "robot", già nell'antichità si narrava di figure meccaniche in grado di operare in modo autonomo. Ad esempio Omero descrive nell'Iliade delle "figure di vaghe ancelle, tutte d'oro, e a vive giovinette simili" [8] create dal dio Efesto come aiutanti femminili *"entro il cui seno aveva messo il gran fabbro e voce e vita e vigor d'intelletto"* [9]. Nella tradizione ebraica è invece presente la figura del Golem [10], un gigante di materia inanimata, a cui viene data la vita tramite rituali magici esoterici e che può essere utilizzato come servo, lavoratore o protettore del popolo ebraico dai suoi persecutori. Anche Leonardo da Vinci descrive, nel Codice Atlantico e in piccoli taccuini tascabili databili intorno al 1495-1497, un "automa cavaliere" [11], ideato probabilmente per animare le feste alla corte sforzesca di Milano. Ma è per essere esposti nelle *Wunderkammer* (gabinetti delle curiosità) che geniali artigiani ed esperti di meccanica creano nel

Settecento alcune delle più sorprendenti realizzazioni di automi meccanici. Come ad esempio "I Tre Automi" [12], lo scrivano, il disegnatore e il musicista, realizzati in Svizzera tra il 1770 e il 1773 dal maestro di orologeria Pierre Jaquet-Droz e da suo figlio Henri-Louis e presentati nel 1775 alla corte di Re Luigi XVI e della Regina Maria Antonietta a Parigi. (Figura 1).

1.2 Gli sviluppi

Queste sono però solo curiosità del passato; la vera e propria robotica nasce nel 1961, in uno stabilimento della General Motor del New Jersey, dove viene installato il primo braccio robotico in una catena di montaggio di automobili [13]. Questo robot, denominato Unimate, doveva estrarre dagli stampi di fusione parti incandescenti di automobile (ad esempio

maniglie di portiere) e immergerle nel liquido di raffreddamento prima del passaggio alla rifinitura e lucidatura [14] (Figura 2).

Oggi sebbene la robotica industriale sia tuttora il campo di applicazione predominante, non è più l'unico, dato che nel corso degli anni molti altri ambiti di applicazione sono emersi e si stanno affermando.

Ad esempio importanti finanziamenti vengono utilizzati nel campo della robotica militare, in particolare negli USA, con lo scopo di raggiungere vantaggi tattici diminuendo i rischi umani nella ricognizione tramite droni volanti o nell'esplorazione a terra di campi minati, ma anche per il trasporto di materiale pesante e ingombrante (robot quadrupedi).

Vi è poi l'esplorazione spaziale che sta ultimamente utilizzando sempre più strumenti robotizzati, con l'obiettivo di una riduzione dei costi. Il progetto più importante della NASA riguardante i robot è sicuramente il "Mars Exploration

Rover Project" [15], nel cui ambito sono stati inviati nel 2004 sul pianeta Marte due robot, Spirit e Opportunity, per la raccolta e studio di particelle del suolo (Figura 3).

Un ulteriore campo in cui la robotica viene introdotta con successo è quello medico. In questo caso le applicazioni sono molteplici: si va dalla chirurgia, con celle robotiche per l'esecuzione di operazioni a distanza, all'infermieristica, con robot ospedalieri di supporto al personale e per la distribuzione di medicine, all'assistenza personale, con robot designati per compiti di monitoraggio di pazienti e anziani e per la telepresenza di familiari e medici.

Ma il settore che è sicuramente il più promettente è quello della Robotica Personale.

2 La Robotica Personale

La Robotica Personale, o Robotica di Servizio come viene alcune volte chiamata, comprende tutte le applicazioni robotiche il cui scopo è quello di ridurre il lavoro ed il tempo necessario per lo svolgimento di un certo compito, aumentare la sicurezza e la tranquillità nell'ambiente in cui viviamo o lavoriamo e fornire intrattenimento e divertimento. Le applicazioni che rientrano nel campo della Robotica Personale possono essere così riassunte:

- *robot domestici* – questo tipo di robot si assume lo svolgimento di compiti ripetitivi. In questa categoria rientrano solitamente i lavori di pulizia e di manutenzione, quindi in questo segmento ricadono i robot aspirapolvere, i tagliaerba automatizzati, i sistemi autonomi per la pulizia delle piscine, ecc.

Figura 1 - Gli Automi di Droz sembrano solo pupazzi animati, ma sono forniti di una primitiva interfaccia di programmazione



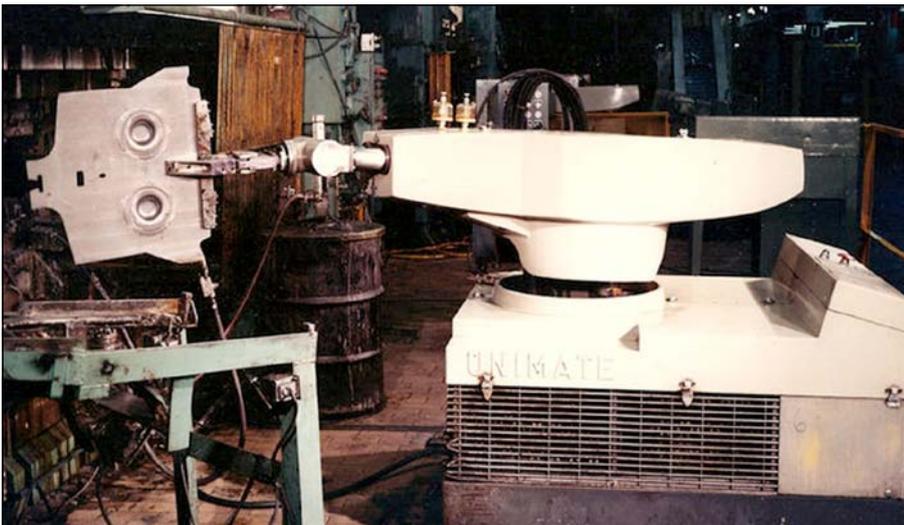


Figura 2 - Il braccio robotico Unimate non assomiglia propriamente ai robot descritti nella fantascienza, sebbene il suo sviluppo fu ispirato dai racconti robotici di Isaac Asimov

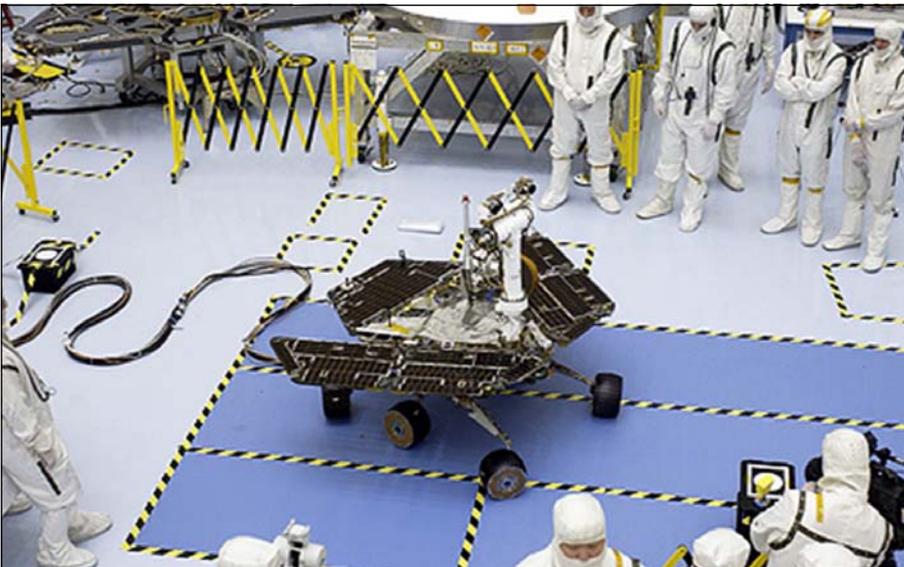


Figura 3 - Primi test del Mars Exploration Rover "Spirit" che dalle camere pulite della NASA si è trasferito alle distese sabbiose di Marte

- *telesorveglianza* – anche in questo caso si tratta dell'esecuzione di compiti ripetitivi, ma la caratteristica principale di questo tipo di robot è di poter rilevare situazioni anomale e di Attualmente esistono già in commercio dei sistemi di telesorveglianza, sia in ambito domestico, che aziendale.
- *telepresenza* – questo tipo di applicazioni permettono la pre-

senza virtuale in un ambiente remoto, consentendo all'utilizzatore di interagire a distanza con le persone e le cose tramite un robot dotato di un'interfaccia audio e video. Anche queste applicazioni possono essere utilizzate sia in ambito domestico (ad es. per la cura di pazienti anziani che vivono a casa), sia in ambito aziendale (ad es. per riunioni di lavoro o visite a stabilimenti).

- *robot per l'intrattenimento* – con robot di forma umanoide o animale in grado di interagire e giocare con gli utilizzatori.
- *robot educativi* – usare la robotica è il modo migliore per imparare la robotica, il capostipite di questo tipo di applicazioni è stato il sistema Mindstorms sviluppato dalla LEGO [16]. Tutte queste applicazioni ricadono fondamentalmente in due tipologie di soluzioni che tengono in conto la tipologia di interazione che il robot ha con l'uomo.
- *soluzioni autonome* – sono le applicazioni in cui il robot svolge il suo compito con un alto grado di autonomia e quindi non richiedono una presenza umana;
- *soluzioni augmented* – sono le applicazioni in cui il compito principale del robot è la collaborazione con la presenza umana, fornendo servizi mirati ad aiutare e/o dare informazioni all'utilizzatore tramite un'innovativa modalità di interazione tra uomo e robot.

L'interesse verso la Robotica Personale viene spiegato da molti esperti nel campo con il parallelismo tra lo stato della robotica attuale e quello dell'informatica negli anni '80. Ad oggi però ci sono ancora alcuni problemi che devono essere risolti prima che questo porti a quella rivoluzione rappresentata dall'introduzione della robotica nella nostra vita quotidiana, come è successo con l'introduzione dei personal computer. In primo luogo esiste il problema di consentire ai robot la percezione dell'ambiente fisico in cui si trovano; operazioni semplici e scontate per l'uomo sono compiti difficili per un robot, come il riconoscimento di oggetti e persone, l'orientamento

ROS

ROS (*Robot Operating System*) è un framework open source per sviluppo software su robot eterogenei e fornisce tutta una serie di funzionalità, tipiche di un sistema operativo, per facilitare la creazione delle componenti (nodi) attraverso linguaggi come C++ e Python, e la gestione ed il debugging delle componenti attraverso comandi ad-hoc (molto simili a quelli di un sistema operativo) e varie interfacce grafiche. ROS, originariamente sviluppato presso i laboratori di Intelligenza Artificiale a Stanford (California), è seguito e ampliato dal 2008 essenzialmente da Willow Garage, un istituto di ricerca sulla robotica con più di 20 istituzioni che collaborano in una sorta di modello di sviluppo federato (sponsorizzato da Google). All'interno del gruppo di lavoro sulla robotica si sta puntando molto su questo framework, ormai divenuto uno standard de-facto per lo sviluppo su robot.

ROS è basato su un'architettura a grafo dove il processamento ha luogo nei nodi, che sono i mattoncini base delle componenti SW sviluppate, e la comunicazione avviene sfruttando diversi paradigmi (Messages, Services e Action)

Il framework e le librerie a supporto di ROS sono disponibili in modo completo solo su Ubuntu che è un sistema operativo Unix-like, su altri sistemi operativi sono ancora in fase sperimentale.

Modularità

L'accoppiamento molto lasco fra i nodi permette una elevata modularità delle componenti SW, alla base di questo accoppiamento stanno essenzialmente tre paradigmi di comunicazione che a loro volta si basano sul concetto di messaggio scambiato, un messaggio viene descritto in un file di testo compilato opportunamente dal framework ROS. Ecco nel seguito i tre paradigmi di comunicazione.

Messages: la comunicazione avviene attraverso il noto meccanismo comunemente definito "publish-subscribe", un nodo ROS semplicemente dichiara a quali topic si sottoscrive e con opportune "callback" verrà notificato ogni qualvolta quel messaggio viene pubblicato su quel topic da altri nodi

Services: la comunicazione avviene attraverso il classico meccanismo "request-response", un nodo esegue una richiesta ed attende in modo sincrono una risposta, in questo caso un nodo si comporta da server (accetta richieste e risponde) e l'altro nodo da client (esegue le richieste). Sia le richieste che le risposte sono messaggi ROS.

Actions: la comunicazione avviene in modo asincrono, un nodo client invia una richiesta ed attende di essere notificato della risposta (result, feedback) su opportuna callback, non appena questa viene resa disponibile dal nodo server. La richiesta può anche essere cancellata. La modularità delle componenti è una delle condizioni necessarie alla base del concetto di astrazione delle funzionalità del robot

Astrazione

Un classico esempio di astrazione di ROS è quello del sistema di navigazione: un insieme di nodi generici che implementano algoritmi di localizzazione, planning, gestione mappe; ed una serie di nodi specifici (cosiddetti driver): per la gestione ad esempio del sensore laser della Hokuyo, del robot P3DX della Pioneer. Questi ultimi pubblicano o si sottoscrivono a messaggi "standard", per cui non è necessario costruire due nodi separati per la localizzazione poiché i messaggi rimangono sempre gli stessi. In definitiva, l'utilizzo di ROS permette un certo grado di astrazione dell'HW verso le applicazio-

ni costruite utilizzando il framework, per cui non è più necessario scrivere due applicazioni diverse per eseguire la navigazione di un robot umanoide (NAO) e di un robot con le ruote (iCreate), ma con un'unica applicazione sottoscrivere o pubblicare i messaggi che sovrintendono la navigazione, ci penserà poi ROS a gestire i diversi HW (gestione ruote e/o gambe) con i driver opportuni.

Distribuzione

Il framework ROS è strutturato attraverso una gerarchia molto funzionale alla distribuzione delle componenti e quindi allo sfruttamento pieno della loro modularità. La gerarchia è così articolata a partire dal basso:

Nodi: sono i mattoncini base del framework e sono eseguibili C++ o interpretati Python che in generale gestiscono messaggi ROS attraverso uno o più paradigmi di comunicazione fra quelli definiti sopra

Package: è essenzialmente una collezione di nodi ed è riferito alle funzionalità base (astratte) che si vogliono usare, ad esempio il package localizzazione utilizzerà il nodo laser, il nodo AMCL (*Algorithm MonteCarlo Localization*), i driver (nodi) dei robot che si vogliono utilizzare per ricavare le informazioni odometriche del robot stesso. Alcuni nodi sono esclusivi di una package altri possono essere distribuiti con più package.

Stack: è una collezione di package ed è utilizzato essenzialmente per la distribuzione SW dei package, è infatti possibile associargli una versione e dichiarare le dipendenze fra i vari package contenuti ■

all'interno degli ambienti, la manipolazione di oggetti. Un altro ostacolo è rappresentato dalla mancanza di standardizzazione nelle architetture robotiche; il codice di programmazione usato in una macchina non può essere applicato a un'altra: ogni volta che qualcuno vuole programmare un nuovo robot, deve ripartire da zero.

Per ovviare a quest'ultimo problema sono nate iniziative che mirano ad arrivare alla definizione di un meta-sistema operativo che permetta di sviluppare applicazioni robotiche indipendentemente dal robot su cui devono essere eseguite. Questo è lo scopo ad esempio di ROS (*Robot Operating System*) le cui librerie e tools di programmazione forniscono un'astrazione hardware di un gran numero di robot.

Ma su cosa si basa l'affermazione, apparsa sul sito Business Insider, che la robotica sia "The Next Big Thing After Mobile" [20]?

3 Valore previsto del mercato della Robotica Personale

Delle cifre sul potenziale del mercato per la Robotica Personale ci sono già e sono anche molto promettenti: ricavi che superano i 19 miliardi di dollari nel 2017 (fonte ABI Research [21]) (Figura 5 e Figura 6)

Queste previsioni assegnano la maggior parte delle quote di mercato alle applicazioni di tele sorveglianza e telepresenza, in quanto si traducono sia in un risparmio di denaro e di tempo, sia in un aumento della tranquillità personale o aziendale, e quindi mostrano un ritorno tangibile dell'investimento.

Per quel che riguarda la distribuzione dei ricavi nelle regioni geo-



Figura 4 - Il robot PR2 della Willow Garage ci può prendere una birra dal frigo quando abbiamo sete, è una bella innovazione

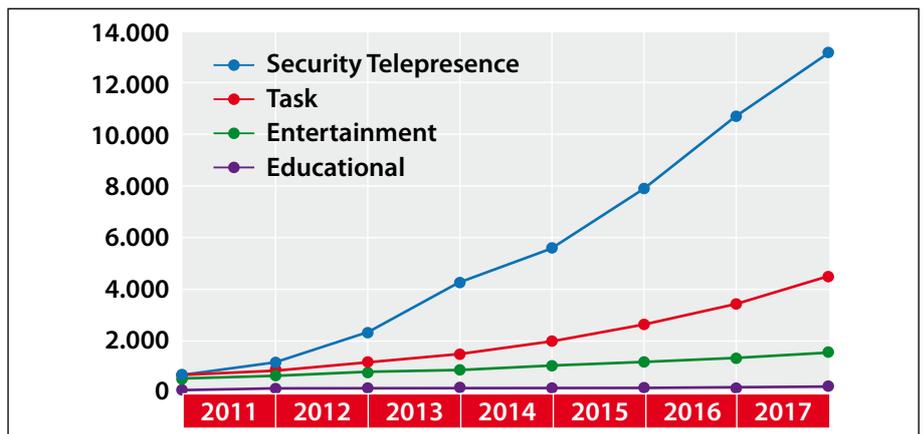


Figura 5 - Previsioni dei ricavi (in milioni di dollari) per segmento (fonte: ABI Research)

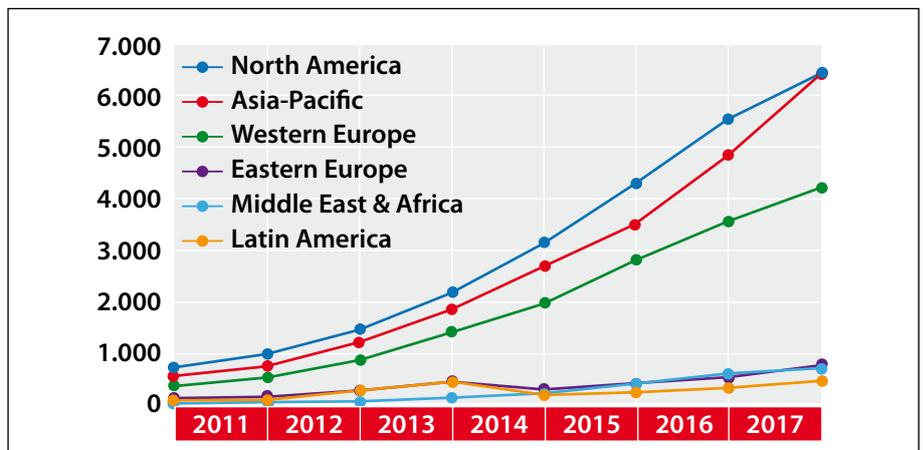


Figura 6 - Previsioni dei ricavi (in milioni di dollari) per regione (fonte: ABI Research)

grafiche le previsioni indicano il nord America, le nazioni asiatiche e l'Europa occidentale come i mercati più ricchi per le applicazioni robotiche.

Anche altre fonti concordano sostanzialmente con questo tipo di andamento, ad esempio Business Insider [20], nel già citato articolo, si aspetta che nel 2015 il mercato della Robotica Personale arrivi ad essere un'industria da 15 miliardi di dollari, con una previsione perfino più ottimistica di quella di ABI Research. L'autore dell'articolo, a supporto dei propri argomenti, cita sia gli ingenti investimenti delle grandi aziende nel campo (Google con la sua *self-driving car*, Amazon con l'acquisizione di KIVA Systems, azienda leader nel campo della logistica robotizzata), sia le numerose piccole aziende che stanno iniziando a commercializzare piccoli robot per l'intrattenimento, tecnologicamente molto avanzati, che si integrano con gli *smart phone* (in particolare iPhone ovviamente) per la realizzazione di quelli che vengono chiamati "smart pet" o "cellbot".

Esempi di queste applicazioni sono Sphero [22] della Orbotix, una pallina robotica delle dimensioni di una palla da biliardo che può essere telecomandata tramite iPhone (e può anche muoversi nell'acqua), Romo [23] della Romotive, un minuscolo cingolato che alloggia uno *smart phone* le cui app possono controllare il suo movimento (tramite comandi inviati da un altro *smart phone*, o comandi vocali, oppure utilizzando la videocamera incorporata), iPuppy del colosso dei giocattoli giapponese Bandai, un piccolo cagnolino che ha un iPhone come faccia ed è una via di mezzo tra un Tamagotchi (sempre della Bandai) e un cagnolino robotico (tipo Aibo della Sony).

Questi prodotti che coniugano la robotica e gli *smart phone* ci conducono ad un punto importante: esiste un legame tra la robotica e le telecomunicazioni?

4 Robotica e telecomunicazioni

Tradizionalmente il mondo della robotica e quello delle telecomunicazioni sono piuttosto distanti, perché da un lato le applicazioni robotiche hanno sempre teso ad essere il più possibile *self-contained*, nel senso che i robot vengono sviluppati per svolgere un compito senza bisogno di ulteriori componenti o integrazioni con elementi esterni, e dall'altro le telecomunicazioni hanno sempre trattato il mondo intangibile dell'informazione, vocale o digitale, e non si sono molto interessate all'interazione con il mondo fisico.

Ma questo stato di fatto è destinato a cambiare a causa di alcune novità che stanno emergendo nel campo delle telecomunicazioni e che si adattano particolarmente bene ad alcuni aspetti attualmente poco considerati della robotica. Le parole chiave che modificheranno in profondità la robotica sono: *cloud computing*, *app store* e M2M (*Machine-to-Machine*).

4.1 Cloud computing, ovvero: il cervello fuori dal corpo

Durante la conferenza Google I/O del 2011 è stata proposta da sviluppatori di Google e di Willow Garage [24] una sessione dal titolo Cloud Robotics [25]. La loro presentazione proponeva un modo innovativo per favorire l'introduzione della Robotica Per-

sonale: partendo dalla premessa che finora è sempre stato necessario trovare un compromesso tra le funzionalità di un robot ed il suo costo, e che uno dei fattori per cui le prestazioni di un robot sono costose è la capacità elaborativa necessaria, sia in termini di costo *hardware*, sia in termini di consumi elettrici (nel robot PR2 il consumo dei computer è il triplo del consumo dei motori), i relatori suggerivano di realizzare robot meno costosi ed ugualmente performanti spostando il carico elaborativo dal robot alla *cloud*.

Ci sono alcune funzionalità dei robot che si prestano particolarmente bene per essere eseguite remotamente, ad esempio il riconoscimento di oggetti, la creazione di mappe e la pianificazione di percorsi, il riconoscimento e la sintesi vocale, la traduzione del linguaggio, ecc. La *cloud* permette di avere robot più intelligenti, a parità di costo, consentendo la scalabilità della capacità elaborativa e della memoria a seconda delle esigenze e partendo da un *hardware* con meno prestazioni. Inoltre la connessione alla rete non favorisce solo la riduzione delle risorse necessarie a bordo del robot, ma consente anche di realizzare la condivisione delle conoscenze tra robot (come nel progetto RoboEarth) incrementando ancora di più le capacità di *problem solving* delle macchine pur mantenendo un basso livello di intelligenza all'interno del robot stesso.

4.2 App store, ovvero: il robot tuttofare

Lo sviluppo delle comunicazioni cellulari ha portato a dei prodotti che sono sempre meno telefoni

e sempre più computer portatili connessi in rete, tanto che i confini tra i due generi è diventato via via più sfumato per perdersi quasi del tutto con i recenti *tablet*.

Una conseguenza di questo progresso è stata la nascita di un mercato per le applicazioni per *smart phone*. Potendo sfruttare una potente CPU ed un'interfaccia grafica dalle notevoli prestazioni lo sviluppo e l'offerta di nuove applicazioni (che possono fornire programmi di elaborazione dati multimediali, connessione ai *social network* del web 2.0, condivisione di contenuti, *augmented reality*, giochi, ecc.) è letteralmente esplosa. Questa è stata certamente favorita dall'introduzione di ambienti di sviluppo come gli SDK (Software Development Kit) di Android e iPhone, ma il fattore chiave che ne ha determinato il successo è stato senza dubbio la possibilità di scaricare le applicazioni direttamente dalla rete e di installarle con un semplice click tramite gli *app store*.

Per questo motivo si può ipotizzare che anche nel caso dei robot gli *app store* possano essere un elemento di successo, anzi già adesso stanno incominciando a nascere alcune iniziative di questo tipo come i siti Robot App Store [26] e MyRobots [27], dai quali è possibile scaricare applicazioni per molteplici piattaforme robotiche (come NAO, Roomba, Aibo, Pleo, ecc.). Tutte queste proposte sfruttano le piattaforme di sviluppo robotiche già esistenti (come LEGO NXT [18], Microsoft Robotics Developer Studio [19], ROS [18], ecc.) per offrire applicazioni disparate e inventive per il *download* sui robot. Come nel caso delle applicazioni per *smart phone* è abbastanza prevedibile che la sola presenza dello strumento favo-

risca lo sviluppo dei prodotti da parte di una base consistente di sviluppatori che, in forza del proprio numero e della propria fantasia, sono destinati a sorprendere per immaginazione ed innovatività.

4.3 M2M e le Smart City

L'importanza della rete di telecomunicazioni che unisce le persone impallidisce di fronte alle potenzialità della rete globale che potrebbe unire le "cose". Nel momento in cui un accesso alla rete dati sta diventando la norma anche per oggetti che precedentemente non lo hanno mai necessitato (come i televisori, gli elettrodomestici, i navigatori satellitari, gli apparecchi medicali, i sensori ambientali, o addirittura i vestiti e gli imballaggi delle merci) le possibili applicazioni diventano virtualmente infinite. Questo porta all'affermazione come tematica di grande interesse della comunicazione tra le macchine, M2M, e in particolare la sua standardizzazione.

In questo contesto appare evidente il ruolo che possono giocare i robot nella comunicazione M2M. I robot "connessi" hanno la capacità di diventare tra le fonti principali di informazioni e funzionalità fornite dall'internet delle cose. Tramite essi è possibile esplorare ambienti, interagire con oggetti e persone, effettuare azioni e ottenere risposte, sia tramite telecontrollo, sia lasciandoli liberi di agire in autonomia ma impostando una data reazione ad un dato evento. In questo modo, tramite la rete di telecomunicazioni, si potrebbero usare i robot come avatar per visitare un museo o un ambiente

ostile, oppure come compagni per svolgere un lavoro o collaborare ad un risultato, o come sostituti per svolgere un controllo o un incarico pericoloso o gravoso.

Da queste possibilità nasce anche l'interesse sulla robotica per l'evoluzione delle Smart City con l'opportunità per i comuni e gli enti preposti di disporre di sistemi telecontrollati o semi-autonomi per il controllo del territorio, la sorveglianza di aree a rischio, la supervisione ad hoc nel caso di eventi non prevedibili come incidenti stradali, congestione del traffico, o problemi di ordine pubblico (si pensi ad esempio all'utilizzo di quadricotteri telecontrollati che, dotati di videocamera, possano essere portati sul luogo di interesse in poco tempo per fornire indicazioni alle forze dell'ordine o ai soccorsi). Queste applicazioni di telesorveglianza non saranno le uniche da sviluppare, ma ne potranno essere messe in campo anche altre a supporto dei cittadini con la finalità di fornire informazioni o servizi più efficienti.

In definitiva l'integrazione tra robotica e telecomunicazioni permette di fornire servizi ai robot (sotto forma di capacità di calcolo ed espansione di memoria *on demand*), di ottenere servizi dai robot (sotto forma di informazioni ed eventi dall'ambiente in cui operano e di capacità di effettuare azioni nello stesso) e di incrementare le funzionalità dei robot (tramite il *download* e l'*upgrade* di funzionalità dalla rete).

Per questo Telecom Italia contribuisce attivamente al Technical Committee di ETSI sul M2M e proprio in questo ambito sta portando avanti una proposta di interlavoro tra l'architettura di ETSI M2M e ROS (il *framework* per la programmazione dei robot). Lo

scopo di questo contributo è quello di definire una modalità standard per mettere a disposizione le funzionalità (sia in input che in output) di un robot ad applicazioni remote tramite la rete.

Ma su quali altre attività si sta focalizzando Telecom Italia?

5 Le attività di Telecom Italia nel campo della robotica

Da quanto scritto finora si deduce come la robotica abbia raggiunto uno stato di maturità tecnologica sufficiente a far presumere che possa avere le potenzialità di mercato per affermarsi come una delle tematiche tecnologiche emergenti nel prossimo futuro. Quindi non è incongruente che

un operatore come Telecom Italia si interessi alla robotica, ed in particolare alla robotica personale, o di servizio, con l'intento principale di sondare le linee di tendenza evolutive dell'offerta sul mercato e di sviluppare prototipi di piattaforme software ed hardware per validare in campo le potenzialità del mercato.

5.1 L'architettura di riferimento

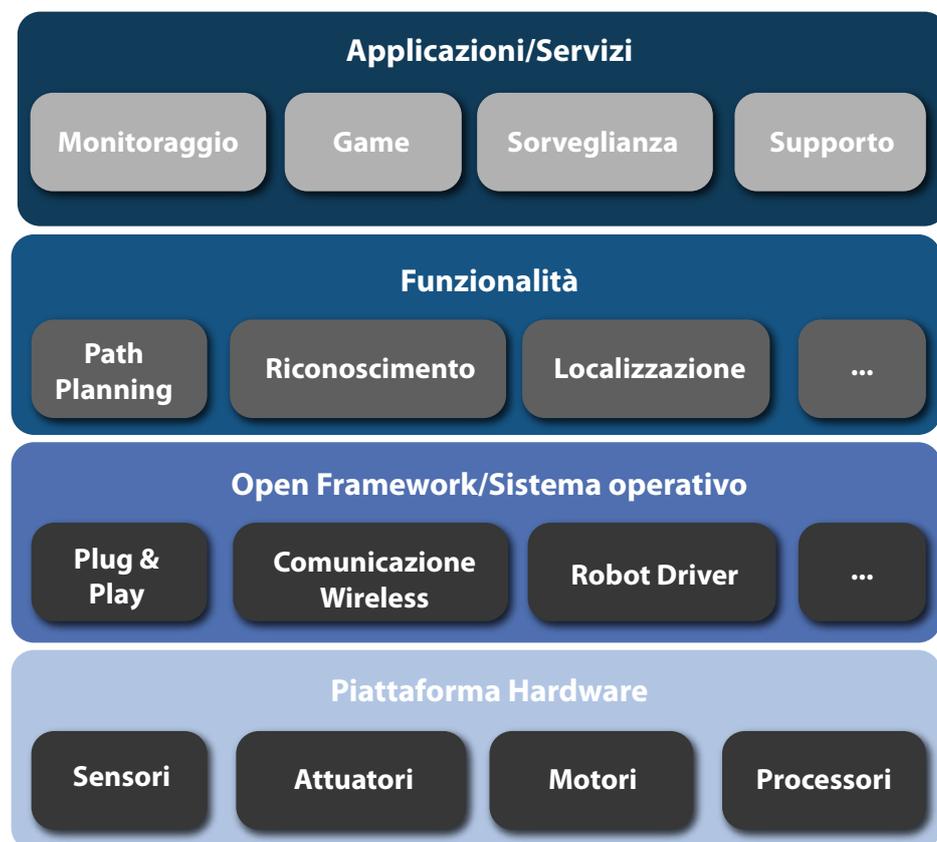
A seguito dell'analisi effettuata, è risultato utile definire un'architettura a cui fare riferimento per favorire lo sviluppo di servizi e applicazioni con un certo grado di indipendenza dallo specifico robot; questa a sua volta è com-

posta da una struttura *multi-layer* concepita per separare, sia logicamente che fisicamente, l'*hardware* del robot (qualunque esso sia: drone volante, terrestre, cingolato, umanoide, ecc.) da quelle che sono le sue funzionalità *software* (localizzazione, *mapping*, *path planning*, *tracking*, ecc.) (Figura 7).

I *layer* di cui si compone l'architettura di riferimento sono:

- **Livello Piattaforme Hardware:** questo è il campo dei costruttori dei robot e dei loro componenti; dei produttori di sensori/attuatori (anche MEMS e NEMS) e dell'elettronica per la parte computazionale; delle aziende che sviluppano la meccanica di precisione; delle imprese che disegnano i propulso-

Figura 7 - Architettura di riferimento per lo sviluppo di servizi basati sulla robotica



ri per gli UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) o i motori per le ruote o i cingoli degli UGV (*Unmanned Ground Vehicle*); ecc.

- **Livello Open Framework/Sistema operativo:** questo è il livello che abilita il disaccoppiamento dell'*hardware* del robot dalle sue funzionalità. È costituito da quei sistemi che permettono al robot di connettersi in rete, di esporre interfacce o *driver* delle risorse (come la lettura dei dati dai sensori o i comandi verso gli attuatori a bordo), ma anche da quello strato *software* che consente agli sviluppatori di funzionalità e applicazioni di astrarre dall'*hardware* fisico dei robot. È grazie a questo *layer* che si può pensare di spostare molti degli sviluppi *software* dei *layer* successivi dal robot stesso (com'era finora) alla rete.
- **Livello Funzionalità:** questo livello è formato da tutti gli *enabler* che, localmente sui robot o remotamente sulle piattaforme in rete, forniscono funzionalità di base in grado di interoperare tra loro grazie a interfacce standard o basate su ambienti di programmazione (lo stesso concetto degli SDK per i sistemi operativi dei cellulari). Questo è il primo livello che consente uno sviluppo *software* con un certo grado di indipendenza dall'*hardware* sottostante.
- **Livello Applicazioni/Servizi:** questo è il livello ICT per eccellenza, dove tutte le applicazioni e i servizi sono realizzati (come la sorveglianza automatizzata, la telepresenza, il monitoraggio, le applicazioni educative e di intrattenimento), sfruttando anche i dati e gli altri sistemi in rete.

5.2 La creazione dell'ecosistema

Un'applicazione robotica è fondamentalmente un sistema complesso che raccoglie stimoli ed eventi dall'ambiente ed agisce sull'ambiente stesso in risposta a tali sollecitazioni quindi, da un certo punto di vista, la robotica può essere vista come un'evoluzione delle reti di sensori, che condividono con essa molte problematiche relative al monitoraggio e all'attuazione. Ma le conoscenze acquisite e maturate nello studio delle WSN (*Wireless Sensor Network*) non bastano. Da qui l'esigenza di collaborare, creando ecosistema, sia con il mondo universitario (università di Padova e Torino in primis) sia con il mondo industriale (Comau ad esempio) sia con altri enti di ricerca come CNR e IIT che hanno già maturato esperienze in tale settore.

Al fine di supportare le attività di questo eterogeneo gruppo di ricerca (tra l'altro in continua evoluzione) Telecom Italia ha avviato il Robotics Research Campus [28], con l'obiettivo di connettere fra loro questo insieme di università, centri ricerca e aziende, riunite assieme per indagare lo sviluppo della "Next Robotic Generation". Il portale ha come intento la condivisione all'interno e la divulgazione verso l'esterno delle azioni volte a diffondere la cultura dell'innovazione e della ricerca applicata alla Robotica Personale. La finalità è di rafforzare lo scambio di *know-how* nella ricerca di base, favorire lo sviluppo di nuovi *concept* di servizio, creare le opportunità per la partecipazione a progetti finanziati di ricerca e sviluppo e agevolare l'aggregazione di nuovi attori interessati all'ini-

ziativa, siano essi centri ricerca o aziende (Figura 8).

5.3 L'interesse per la robotica umanoide

I criteri che guidano la costituzione di questo ecosistema di università e aziende tengono in particolare considerazione un particolare segmento della robotica personale: la robotica umanoide. Data la difficoltà di realizzazione di un robot antropomorfo potrebbe sembrare poco proficuo perseguire questo obiettivo, ma ci sono almeno due vantaggi che rendono la robotica umanoide interessante:

- la capacità di utilizzare gli stessi attrezzi usati dagli uomini,
- l'interazione tra uomo e macchina seguendo schemi e meccanismi umani.

Lo studio della HRI (*Human-Robot Interaction*) non prescinde in alcun caso dall'aspetto "umano" della comunicazione con un robot (non è infrequente il caso di persone che parlano al proprio aspirapolvere robot), ma nel caso di un robot umanoide si può arrivare ad avere un vero e proprio "rapporto umano" con lui. Questo è vero non solo con i prodotti di "fascia alta" di questo tipo (ad esempio il famoso robot Asimo della Honda), ma anche con altri robot umanoidi di ridotte dimensioni, che stanno iniziando ad avere un buon riscontro anche in termini di vendite. Il più noto tra questi è il robot NAO della Aldebaran Robotics [29].

Questo robot umanoide alto 57 cm. può essere utilizzato per realizzare applicazioni di intrattenimento, o educative, oppure di telepresenza per il contatto con bambini o anziani, inoltre potrebbe fungere da interfaccia per reperire i contenuti multimediali dal web 2.0. Svilupp-

Figura 8 - Una videata del portale del "Robotics Research Campus"

The screenshot shows the 'Activities' page of the Robotics Research Campus website. The page features a navigation bar with links for HOME, ACTIVITIES, NEWS & EVENTS, ROBOTS & PORTALS, MEDIA, PARTNERS, and CONTACTS. The main content area is titled 'Activities' and lists several projects under the heading 'LIST OF THE PROJECTS'. Each project includes a small image, a title, a brief description, and contact information. The projects listed are:

- ROSJava Library:** We are experimenting ROSJava library to connect Java to ROS applications, this library is still in alpha version, but is constantly improved. This library paves the way for a clear functional separation amongst what is running on a platform and what is specific for robot. On the platform, ROSJava library can build an interface made of ROS messages talker/listener or server/client, such a messages interface represents the contract between ROS and Java application. On the Robot, all ROS libraries are possible to build specific applications, the interface messages simply need to be published or subscribed. Email Contacts: [Roberto Antonini](#), [Marco Gasparдоне](#)
- NAO Tris:** NAO is able to play Tic Tac Toe game thanks to a remote algorithm deployed to a platform. NAO just needs to be switched on and connected to the platform, once doing this everything works. The only requested NAO functionalities are VideoDevice (for shooting photos of Tic Tac Toe schema game), TextToSpeech (for interacting with human adversary) and Motion (for pointing next move); those are all native functionalities running on the robot and being connected by the platform to support the Tic Tac Toe algorithm. It's a very first example on how NAO can exploit a remote process, a first substantial step towards "Cloud Robotics". Email Contacts: [Roberto Antonini](#), [Marco Gasparдоне](#)
- ROS implementation of SLAM (Simultaneous Localization and Mapping):** The robot is able to build a map of the environment and to estimate its position within the map, using the approach of this paper! The algorithm takes in input the sensor readings from a laser scanner and provides a map of the obstacles and traversable spaces. Application scenarios include mapping of logistic spaces for management or monitoring purposes, as well as mapping of home environments, for situational awareness and domestic applications. Email Contacts: [Luca Carbone](#)
- PIANO:** (Nao will be able to play simple songs at the piano) Nao Robot learns how to play piano by a human teacher. The robot could be a useful tool for a piano teacher or a teacher himself to improve children's piano skills and to encourage them to play and enjoying the instrument! From now the robot recognizes the piano keyboard and localizes all the keys and their names analyzing the relative position between 5 black keys. Further work will focus on learning how to press the right keys in order to play a simple song with two hands independently. Email Contacts: [Riccardo Levorato](#)
- Autonomous Robotic Monitoring:** A new robot prototype has been built to inspect industrial site. This prototype is mainly composed by a Icreate robot and a PC mounted on top of it. It's sort of robot platform to test new sensors, ranging from laser to sharp nodes; you simply need to connect the PC via WIFI and a simple application running on it, which manages robot and sensors, allows you to build new service logics. Email Contacts: [Roberto Antonini](#), [Marco Gasparдоне](#)

On the right side of the page, there is a search bar, a 'RECENT POSTS' section with a list of recent articles, and a 'TAG CLOUD' section with various tags like '3D system App Store Autonomous robotics Cloud Robotics Dance dissemination DRONE haptic humanoid Industrial Robotics iRobot Java NAO New DARPA Next Generation odwex Open Source Piano Play Plo podcast qbc Robot Robotics Rome Roomba ROS ROSCon 2012 SLAM TicTacToe TurtleBot workers'.

pando una funzionalità di questo tipo si potrebbero creare servizi per accedere a informazioni, notizie, richiedere e scaricare canzoni o video, rimanere in contatto con i social network e ricevere/inviare messaggi semplicemente interagendo con un "amico elettronico"

(una sorta *tablet* a due gambe con una interfaccia vocale).

Sempre nel tema della robotica umanoide si inquadra la lettera di endorsement inviata da Telecom Italia alla Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa (altro centro di eccellenza per la robotica), in cui

si esprime interesse e appoggio alla sua proposta di progetto RCC (*Robot Companions for Citizens*) inquadrata nell'ambito dei progetti europei di tipo FET (*Future and Emerging Technologies*) Flagship, che ha come obiettivo della proposta di progetto quello di condurre al "Sustainable welfare through sentient machines".

5.4 Proposta di progetto FP7: ROSSUM

Telecom Italia ha anche proposto il progetto ROSSUM (*Robot System for energy Saving via Unmanned Monitoring*), per la realizzazione di un sistema per il monitoraggio dell'efficienza energetica nei data center tramite una rete integrata di robot mobili dotati di telecamere termografiche e sensori fissi.

È un'applicazione della robotica di servizio che deriva dall'esperienza di Telecom Italia con i propri data center, che sono grandi consumatori di energia elettrica, in gran parte destinata al raffreddamento delle macchine. Per questo motivo varie aziende nel mondo cercano soluzioni innovative per il loro condizionamento ma, nonostante tutti gli sforzi di efficientamento, si possono sempre creare all'interno dei data center gli insidiosi hot-spot. Questi sono zone circoscritte di aria a più alta temperatura che si creano a causa di condizioni locali anomale (ad esempio un carico non ottimizzato delle macchine) e possono portare a guasti e ad un'eccessiva usura delle macchine, costringendo per questo motivo ad un costante monitoraggio termico dell'ambiente. Una copertura estensiva dell'ambiente tramite sensori fissi di temperatura o termocamere stabili sarebbe costosa, quindi la soluzione proposta nel

progetto FP7 è quella di un monitoraggio tramite un robot dotato di termocamera a bordo che pattugli costantemente le file dei rack e possa dirigersi verso i punti in cui i sensori fissi rilevano un innalzamento, anche minimo, della temperatura, per un'analisi approfondita dell'eventuale anomalia (Figura 9).

Conclusioni

È importante sottolineare che la robotica e le telecomunicazioni possono avere una proficua collaborazione: la robotica può sfruttare la possibilità di attingere funzionalità e potenza di calcolo dalla rete; le telecomunicazioni, dal canto loro, possono vedere la nascita di un nuovo soggetto che ha bisogno di app store, di capaci-

tà di banda e di risorse dalla cloud e che può così diventare uno degli utilizzatori fondamentali delle nuove capacità delle "wireless mobile broadband network".

Non è quindi sbagliato da parte di un operatore come Telecom Italia provare ad esplorare queste possibilità che si affacciano, creando collaborazioni con altri attori già esperti nel campo (sia industriali che accademici) e utilizzando le proprie conoscenze per favorire l'integrazione della robotica nella futura Internet of Things ■

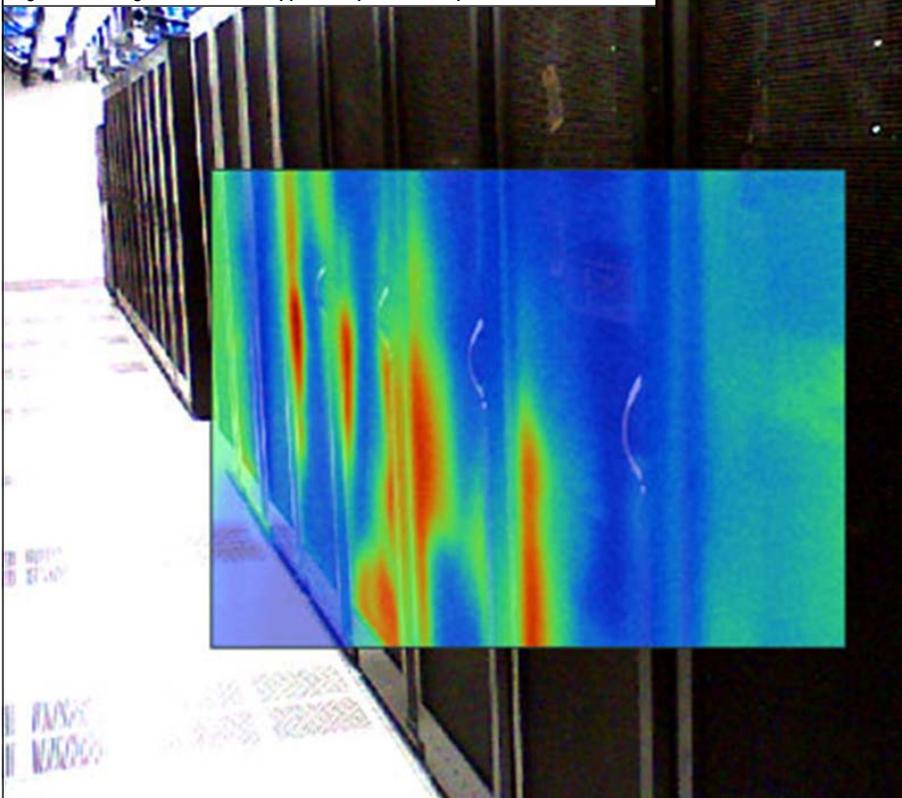


Bibliografia

- [1] Spiegazione della genesi della parola "robot" dal sito di Karel Čapek: <http://capek.misto.cz/english/robot.html>

- [2] Pagina della Wikipedia sull'opera teatrale R.U.R.: <http://en.wikipedia.org/wiki/R.U.R.>
- [3] Pagina dell'Internet Movie Data Base su Metropolis di Fritz Lang: <http://www.imdb.com/title/tt0017136/>
- [4] Pagina della Wikipedia sul romanzo Brave New World di Aldous Huxley: http://en.wikipedia.org/wiki/Brave_New_World
- [5] Sito ufficiale di Philip K. Dick: <http://www.philipkdick.com/>
- [6] Pagina dell'Internet Movie Data Base su Blade Runner di Ridley Scott: <http://www.imdb.com/title/tt0083658/>
- [7] Dizionario Italiano De Mauro, Paravia, 2000
- [8] Omero, Iliade, libro XVIII, versi 574-576, traduzione di Vincenzo Monti
- [9] Omero, Iliade, libro XVIII, versi 576-578, traduzione di Vincenzo Monti
- [10] Pagina della Wikipedia sul Golem: <http://en.wikipedia.org/wiki/Golem>
- [11] Mario Taddei, I Robot di Leonardo, Leonardo3, 2007
- [12] Pagina dedicata agli automi di Jaquet-Droz in "Le site des androïdes et des animaux artificiels": http://www.automates-anciens.com/version_italienne/pagine_principali/androidi_jaquet_droz.htm
- [13] Pagina della Wikipedia su Unimate: <http://en.wikipedia.org/wiki/Unimate>
- [14] 1961: A peep into the automated future, Paul Mickle, <http://www.capitalcentury.com/1961.html>
- [15] Sito ufficiale del Mars Exploration Rover Project: <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/home/index.html>
- [16] Sito di LEGO Mindstorms: <http://mindstorms.lego.com/en-us/Default.aspx>
- [17] Sito del progetto RoboEarth: <http://www.roboearth.org/>
- [18] Sito di Microsoft Robotics Developer Studio: <http://www.microsoft.com/robotics/>

Figura 9 - Immagine termica sovrapposta a quella nello spettro della luce visibile



- [19] Sito del progetto open source ROS (*Robot Operating System*): <http://www.ros.org/wiki/>
- [20] Alyson Shontell, *The Next Big Thing After Mobile*, Business Insider, 6 aprile 2012, <http://www.businessinsider.com/whats-the-next-big-thing-after-mobile-2012-3>
- [21] Personal Robotics, "Task, Security and Surveillance/Telepresence, Entertainment and Education Robots, and Robotic Components Markets Through 2017", ABI Research, 2010
- [22] Sito di Sphero: <http://www.gosphero.com/>
- [23] Sito di Romotive: <http://www.romotive.com/>
- [24] Sito di Willow Garage: <http://www.willowgarage.com/>
- [25] Ryan Hickman, Damon Kohler, Ken Conley, Brian Gerkey, "Cloud Robotics", Google I/O, 2011, <http://www.google.com/events/io/2011/sessions/cloud-robotics.html>
- [26] Sito di Robot App Store: <http://www.robotappstore.com/>
- [27] Sito di MyRobots: <http://www.myrobots.com/>
- [28] Sito del Robotics Research Campus di Telecom Italia, Università di Padova, Politecnico di Torino e CNR: <http://servicerobotics.dei.unipd.it/>
- [29] Sito di Aldebaran Robotics produttore del robot NAO: <http://www.aldebaran-robotics.com/>

roberto.antonini@telecomitalia.it
gianpiero.fici@telecomitalia.it
marco.gaspardone@telecomitalia.it



Roberto Antonini

ingegnere elettronico, è in Azienda dal 2001, nel corso degli anni ha collaborato in diversi progetti sia interni che internazionali, come il monitoraggio evoluto della infrastruttura di rete e l'analisi e lo sviluppo con tecnologia 3D di interfaccia utente per fruire contenuti televisivi. Attualmente lavora nel dipartimento di Innovazione di Telecom Italia e si occupa di dimostrare specifici concept della robotica di servizio quando connessa ad una piattaforma in generale alla rete.



Gian Piero Fici

laureato in Scienze dell'Informazione, nel 1988 entra in Azienda. Tra il 1990 e il 1993 è stato coinvolto nel progetto per l'introduzione della Rete Intelligente in Italia. In seguito ha lavorato in altri progetti su piattaforme e architetture per il supporto di servizi in rete (OSA-Parlay, Parlay X, ecc.) e sulla Service Oriented Architecture (Web Services, UDDI, REST, ecc.). Dal 2007 al 2010 ha seguito lo sviluppo della piattaforma WSNC (Wireless Sensor Network Center) per la creazione di applicazioni basate su WSN. Nel 2010 ha iniziato a seguire i lavori del Technical Committee di ETSI sulla tematica Machine-to-Machine (M2M), in cui è rapporteur del work item "Interworking between the M2M Architecture and M2M Area Network technologies". Attualmente è coinvolto nel progetto sulla Service Robotics.



Marco Gaspardone

ingegnere delle Telecomunicazioni, inizia la sua attività in Telecom Italia nel 2001. Nei primi anni è stato coinvolto in progetti per la definizione di servizi sulla "Intelligent Network". Nel 2008 coordina la messa in esercizio della piattaforma di Energy Management per il monitoraggio delle centrali telefoniche Telecom Italia. Attualmente è responsabile delle attività di ricerca e sviluppo nel campo della robotica di servizio. Nel 2010 ha conseguito la graduation per il "Executive Master in Technology and Innovation Management" (Alma Graduate School) e nel 2011 la certificazione PMP® del Project Management Institute. E' anche co-autore di brevetti e pubblicazioni.