

## Strategie robotizzate per operazioni di rilevamento e conservazione dei BBCC.

### *Robotic systems for architectural survey and conservation of Cultural Heritage*

HeritageBot è un progetto di sviluppo tecnologico finalizzato alla realizzazione di sistemi robotizzati al servizio di beni culturali architettonici e archeologici.

La sperimentazione si sofferma sull'applicazione di robot esapodi espressamente progettati per essere utilizzati, in particolari casi, nelle operazioni di rilevamento.

L'unità di ricerca, attiva presso l'Università di Cassino, strutturata con competenze multidisciplinari in particolare nell'ambito della mecatronica e del rilevamento, ha progettato e realizzato due prototipi di robot esapodi. Questi sono stati concepiti per trasportare e movimentare strumentazione per il rilievo.

Attualmente sono in corso test di validazione e verifiche di operabilità, dirette ad ottimizzare procedure ed operazioni automatizzate per le fasi di rilevamento, da far svolgere al sistema robotizzato.

*HeritageBot is a project on technological and market development of robotic patents for cultural heritage (mainly archaeological and architectural) and the development of services for operational applications (industrial, cultural, educational, etc.) of the identified technological solutions.*

*The article focuses on hexapods robot designed to be applied to the analysis of architecture. The robot must perform many of the operations needed in Architectural survey through automated manoeuvres. These manoeuvres could improve procedures and results, both in terms of speed and accuracy of execution.*

*An interdisciplinary research group of the University of Cassino has been working designing two robots. The group built two prototypes. Currently we are developing validation test and solutions tests for general background and specific cases.*



#### **Michela Cigola**

Professore Ordinario ICAR/17. DiCeM Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale - cigola@unicas.it  
Laureata in Architettura e specializzata in "Studio e Restauro dei Monumenti" presso La Sapienza di Roma. Responsabile scientifico del Laboratorio di Documentazione, Analisi, Rilievo dell'Architettura e del Territorio-DART. Componente del Consiglio Scientifico dell'Unione Italiana per il Disegno.



#### **Arturo Gallozzi**

Ingegnere, ricercatore ICAR/17. DiCeM Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale - gallozzi@unicas.it  
La sua attività di ricerca è rivolta prevalentemente alle tematiche della rappresentazione in ambito edilizio, urbano e territoriale; si è occupato inoltre di cartografia ed interventi storici legati a bonifiche idrauliche e a trasformazioni territoriali, nonché di trattatistica e manualista come fonti storiche e indicatori per la progettazione.

**Parole chiave:** Rilievo dell'architettura, Robotica, Nuove tecnologie per i BB.CC.

**Keywords:** Architectural survey, Robotics, New technologies for Cultural Heritage

## IL PROGETTO HERITAGE-BOT

HeritageBot è un progetto di valorizzazione tecnologica nell'ambito della conoscenza, gestione ed attuazione di brevetti nel settore della robotica. Esplica, principalmente, la sua funzione nella concretizzazione di soluzioni tecnologiche rivolte a molteplici applicazioni: industriali, culturali, educative ecc. In questo contesto, uno degli indirizzi di maggior sviluppo attesi dal progetto HeritageBot interessa l'utilizzo di sistemi robotici in architettura e archeologia. Il settore presenta infatti un enorme potenziale di applicazioni e di mercato, che verrà affrontato nell'ambito del progetto sia dal punto di vista tecnico che da quello economico, rispettivamente attraverso la studio e la realizzazione di nuovi prototipi ed attraverso l'identificazione di una gamma differenziata di applicazioni [1].

La compagine di ricerca annovera, al suo interno, diverse competenze che spaziano dalla natura tecnica a quella economica e giuridica, finalizzate tutte alla migliore valorizzazione dei progetti. Le competenze trasversali dell'unità di ricerca fanno riferimento ai seguenti laboratori dell'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale UniCLAM: il LARM (Laboratorio di Robotica e Meccatronica) nel settore più strettamente ingegneristico, il DART (Laboratorio di Documentazione, Analisi, Rilievo dell'Architettura e del Territorio) nell'ambito dei Beni Culturali e principalmente del patrimonio architettonico, l'IMPREDILAB (Laboratorio per la promozione della cultura imprenditoriale) e il FINLAB (Laboratorio di Finanza Aziendale) nell'area economico-aziendale. Le operazioni del progetto sono generalmente articolate in fasi sequenziali, anche parzialmente sovrapposte in termini temporali, con programmazione di attività ed azioni rivolte all'integrazione degli aspetti tecnici con quelli economico-aziendali in un'ottica tecnologico imprenditoriale. Il principale elemento base sul quale è organizzato il progetto riguarda una piattaforma robotica che verrà testata, in un primo step, essenzialmente in attività dimostrative su campi di sperimentazione reali, non solo per validare i risultati tecnologici raggiunti nell'applicazione ai BBCC, ma anche per veicolare il trasferimento tecnologico e i succes-

sivi sviluppi dei risultati presso realtà imprenditoriali e possibili utilizzatori. In breve sintesi, le attività di ricerca prevedono studi sulle possibili applicazioni nei beni culturali, progettazione di specifiche soluzioni e loro operatività, integrata da test di validazione, coinvolgimento di end-users e stakeholders, oltre alla sperimentazione diretta del sistema in particolari contesti architettonici ed archeologici.

## OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto HeritageBot persegue essenzialmente due obiettivi di ricerca fortemente integrati tra loro. Da un lato lo sviluppo e il perfezionamento di un prototipo robotico applicato ai beni culturali, congiuntamente alla relativa attività di supporto al trasferimento tecnologico e di diffusione delle conoscenze, dall'altro la realizzazione di un insieme di pacchetti integrati di strumenti e servizi, che grazie alle competenze sviluppate possano essere utilizzate in ambito culturale ed industriale. Pertanto, il primo obiettivo riguarda lo sviluppo prototipale di un sistema robotico per i BBCC, integrato da un insieme di attività volte alla diffusione del sapere tecnologico a vari livelli su scala territoriale.

Da tempo il LARM – UniCLAM ha sviluppato due primi prototipi di robot HeritageBot (HB1 e HB2) in grado di attuare le fasi di analisi e di rilievo di elementi decorativi e di complessi architettonici e archeologici e quindi supportare le successive fasi di conservazione, restauro e valorizzazione del bene. L'attuale pianificazione delle attività di progetto è volta principalmente al perfezionamento dei sistemi HeritageBot, per adattarli alle specifiche esigenze del settore culturale e industriale di riferimento.

In particolare, la ricerca intende porre particolare attenzione al coinvolgimento e al trasferimento di conoscenze non solo con attori specializzati (es. aziende ed enti locali o regionali operanti nei settori dei BBCC), ma anche, come detto, con potenziali operatori e fruitori dei BBCC stessi.

Tra le attività previste per raggiungere il primo obiettivo si prevede l'Identificazione selettiva degli attori che possano avere un interesse specifico al progetto -stakeholder- (es. Ministero dei Beni

Culturali, Sovrintendenze, Poli Museali, aziende che operano nel settore dell'analisi, valutazione e conservazione del patrimonio culturale ecc.). Mentre lo step successivo prevede un miglioramento/adequamento dei prototipi già realizzati, in funzione delle precise esigenze degli stakeholder interessati al progetto, caratterizzando uno dei punti di forza dell'HeritageBot riposti nella modularità e flessibilità d'uso, fattori che rendono possibile diversificate soluzioni, adattabili ai variegati scenari del contesto operativo.

La procedura di lavoro, ormai da tempo consolidata, prevede la verifica delle soluzioni tecniche sviluppate, dapprima testate empiricamente, in modo da valutare potenzialità e limiti, quindi, coerentemente con la filosofia di sviluppo dell'intero progetto, in fasi successive la "messa a punto" di nuove soluzioni e dei servizi ad esse collegate, seguendo metodologie di tipo partecipativo, in modo da coinvolgere tutti i soggetti interessati, in un costante, continuo e implementabile scambio di conoscenze.

Il segmento del progetto HeritageBot sul quale il presente contributo intende soffermarsi riguarda il ricorso a robot esapodi espressamente progettati per essere utilizzati in procedure di analisi di episodi architettonici/archeologici di controllata estensione, tentando di far svolgere al sistema robotizzato le molteplici operazioni tipiche dell'azione del rilevare. Operazioni che, attraverso manovre automatizzate, possano migliorare, in particolari e difficili contesti ambientali, i metodi ed i risultati, sia in termini di velocità che di accuratezza di esecuzione.

## SCENARIO ATTUALE NEL CAMPO DELLA ROBOTICA APPLICATA AI BBCC

Lo stato dell'arte del connubio tra Robotica e BBCC è estremamente sintetico; le esperienze attualmente più conosciute possono essere raggruppate in due principali tipologie: robot per ispezioni e fruizioni in remoto di ambienti difficilmente accessibili e robot utilizzati per la fruizione ampliata dei musei. Alla prima categoria appartiene un dispositivo sviluppato dall'Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione CNR – ISSIA di Bari. Si tratta di un robot mobile



Fig. 1. Robot per l'analisi del dipinto Guernica di Pablo Picasso - Museo Reina Sofia a Madrid

autonomo per la fruizione da remoto di una caverna paleolitica ricca di pitture e reperti preistorici. Il robot è in grado di esplorare l'ambiente e di assumere determinate posizioni. Costituito da una piattaforma robotica mobile, il sistema è equipaggiato con varia strumentazione quale: sensori laser ed a ultrasuoni, inclinometri, telecamera, sistema di illuminazione, bussola ed antenna per la comunicazione wireless da remoto. Altre sperimentazioni sono state effettuate per ispezioni entro cunicoli e piccoli spazi, non raggiungibili dall'uomo per la loro dimensione o per condizioni ambientali particolarmente difficili. Qualcosa di simile è stato tentato con droni volanti a seguito del recente sisma in Abruzzo, per l'indagine sullo stato di ambienti distrutti dal terremoto, in condizioni di pericolo per i soccorritori e per i tecnici, come nel caso della basilica di Santa Maria di Collemaggio a L'Aquila.

Alla categoria dei robot per la fruizione museale appartiene, invece, il prototipo Cicerobot. Robot museale realizzato dal Dipartimento di Ingegneria informatica e dall'Icar-CNR di Palermo, che permette di programmare la visita a seconda del-

le esigenze e riesce a guidare i turisti nel museo evitando ostacoli e file. E' dotato di una tastiera, un monitor, una telecamera e alcuni sensori che lo collegano ad un nodo Internet, al quale puo' connettersi anche chi si trova fuori dal museo per una visita virtuale.

Sempre nell'ambito museale un'altra applicazione, con interessanti possibilità di sviluppo, riguarda il progetto di ricerca "After Dark" [2]. Questo sfruttando gli orari notturni di chiusura della Tate Gallery di Londra, grazie a dispositivi robotici telecomandati, dotati di telecamere e faretto orientabili, consente la visita al museo, collegandosi ad un sito dove il pubblico potrà controllare -a turno- i robot, creando il proprio percorso di visita in tempo reale dal proprio computer.

Fra le applicazioni, ancora allo stato di sperimentazione, si ricorda l'applicazione di un robot a movimento cartesiano che ha consentito di elaborare una corposa indagine diagnostica per il capolavoro di Pablo Picasso 'Guernica', sottoponendolo, nel Museo Reina Sofia a Madrid, ad una dettagliata analisi attraverso circa 24mila fotografie ad altissima risoluzione (eseguite a luce na-

turale, con gli ultravioletti e a raggi infrarossi) di ogni centimetro quadrato dell'opera [3] (Fig. 1).

L'ATTIVITÀ DI RICERCA PRESSO L'UNICLAM  
Nell'ambito dell'Università di Cassino e del Lazio Meridionale, il gruppo di lavoro integrato del Laboratorio DART con il Laboratorio LARM da tempo persegue una forte interrelazione tra le discipline della robotica con quelle del rilevamento architettonico, attraverso un progetto finalizzato all'attuazione di soluzioni tecniche rivolte all'analisi e conservazione del patrimonio architettonico.

La ricerca in corso, parzialmente innovativa nel campo della robotica, prevede la messa a punto di una procedura operativa consistente nella definizione delle specifiche manovre -caratteristiche delle operazioni del rilevamento architettonico- da affidare ai movimenti automatizzati di un robot, costruito nel laboratorio LARM (Fig. 2).

La prima fase del progetto ha interessato l'individuazione dei parametri e delle apparecchiature -proprie delle operazioni di rilevamento- che potessero essere adeguate ed eventualmente integrate con il sistema robotico a disposizione,

e quindi la valutazione “se e come” il dispositivo stesso potesse soddisfare le specifiche esigenze [4]. Attualmente sono in corso le operazioni di ottimizzazione del prototipo costruito dal LARM (Fig. 2) in funzione della sua capacità di movimentazione e controllo da remoto delle apparecchiature per il rilievo installate.

A questo scopo, dopo una serie di test di laboratorio sono state programmate ed eseguite prove campione in siti reali, scelti in base a già pianificate future campagne di rilevamento, assistite da dispositivi robotici. La scelta è caduta sull'Area archeologica della Cassino romana (antica Casinum) [5] nel Lazio meridionale (Fig. 3), in particolare si è ritenuto idoneo, per la prova, uno dei cunicoli dell'anfiteatro [6] (Fig. 4).

Per effettuare il test il prototipo è stato dotato di una telecamera wireless ad alta definizione posta nella parte inferiore della plancia del sistema robotizzato. Mentre nella parte superiore del corpo centrale il prototipo aveva collocato il gruppo di controllo remoto, collegato in wireless per il suo governo, gestibile anche attraverso un comune smartphone, con il quale è possibile trasmettere semplici comandi di avanzamento, arretramento, di sosta, svolta oppure di stop (Fig. 5). La prova ha consentito l'ispezione della parte interna del cunicolo e la registrazione della movimentazione delle ruote e delle gambe del prototipo nella sua prima esperienza in reale. L'esperienza ha evidenziato le criticità dell'apparato, in particolar modo negli stadi di avanzamento del robot nel superare



Fig. 2. La struttura base del prototipo “Robot esapodo” costruito dal LARM

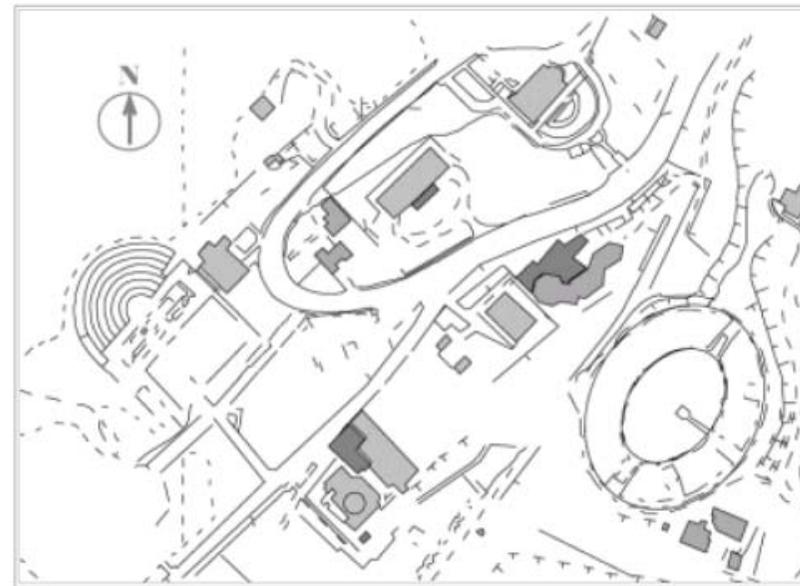


Fig. 3. Planimetria dell'Area Archeologica di Casinum e sua localizzazione nella Cassino attuale

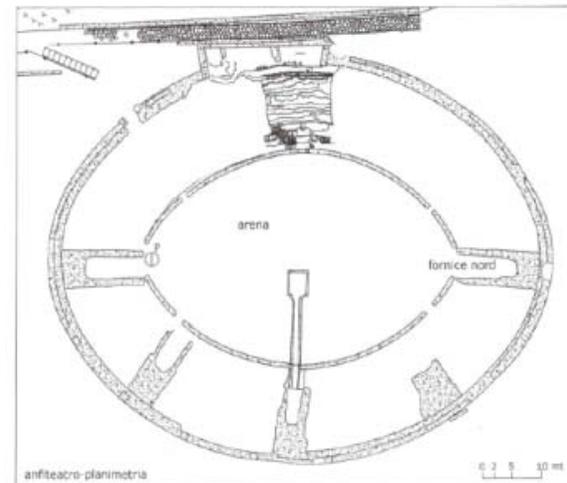


Fig. 4. L'anfiteatro di Casinum





Fig. 5. Il prototipo robotizzato (HB1), accessorato con una telecamera wireless per lo studio del percorso, nel suo primo test fuori dal laboratorio LARM, nelle operazioni di ispezione di un cunicolo non accessibile da operatore umano

i vari ostacoli presenti, consentendo di ottimizzare la struttura ed il software di gestione del dispositivo, soprattutto nella combinazione con le apparecchiature necessarie alle operazioni di rilevamento. Confortati dai risultati emersi dalle prove di campagna, si è proceduto nello sviluppo del progetto, integrando il team di ricerca con un nuovo partner: il Centro Reatino di ricerche di Ingegneria per la Tutela e la Valorizzazione dell'Ambiente e del Territorio della Sapienza, il cui Laboratorio di Rilievo dell'architettura (LRA) è diretto

dal prof. Leonardo Paris. Grazie alla dotazione di apparecchiature per il rilievo architettonico del LRA (Laser Scanner lineari e 3D, apparecchiature fotografiche ad alta definizione ecc.) e con l'intervento del laboratorio LARM, si stanno definendo le opportune modifiche progettuali al prototipo, in modo da poter effettuare -nell'immediato futuro- un primo test assistito da dispositivi robotici, in ambienti di difficile accessibilità, con l'adatta strumentazione professionale per le operazioni di rilevamento.

#### CONCLUSIONI

Il sistema integrato di servizi, proposti dal progetto HeritageBot, rappresenta e sintetizza un modello innovativo applicato allo studio di beni culturali reperibili a vari livelli territoriali, finalizzato essenzialmente alla loro conservazione e valorizzazione.

La proposta progettuale è indirizzata, in questa fase di sviluppo, verso applicazioni rivolte al ricco patrimonio artistico-culturale della regione Lazio, con la finalità di sollecitare l'incremento di alcuni aspetti del sistema socio-economico al quale può essere accostata l'iniziativa. Il progetto trova stimolo nella convinzione che le determinanti della tecnologia da impiegare, in un'ottica di flessibilità, facilità di utilizzo e basso costo, per perseguire gli obiettivi del progetto HeritageBot, si riversino e si trasformino in benefici economici futuri generati dal suo utilizzo. Per quanto invece riguarda l'impatto sui beni culturali della Regione, l'ambito di applicazione può spaziare sull'intero territorio del Lazio. Regione con un immenso patrimonio culturale, declinato in vari modi: musei di anti-

chità, arte moderna e contemporanea; musei archeologici, antiquarium, aree e siti archeologici; musei diffusi sul territorio; monumenti, abbazie, ville e giardini storici, oltre al Fondo Edifici di Culto[7], i cui beni sono di varia natura, costituiti principalmente da edifici sacri. Inoltre, un altro ambito di riferimento riguarda il cospicuo patrimonio di archeologia industriale, organizzato in itinerari ancora -in parte- da valorizzare, come, ad esempio, il circuito della filiera industriale storica della carta nella valle del Sacco e del Liri. Non ultimo un possibile interessamento del progetto ai siti della regione Lazio iscritti nell'elenco del Patrimonio Mondiale dell'Umanità [8], oltre a possibili applicazioni connesse alle collaborazioni con le Soprintendenze del Lazio.

Ricordando che il progetto, avendo come focus principale l'analisi, il rilievo e la conseguente valorizzazione di elementi decorativi, architetture, complessi architettonici, può fruttuosamente interagire con tutti i Beni sopra elencati, risultando una risorsa che potrà contribuire, opportunamente in casi specifici, alla conservazione del patrimonio culturale.

Nello specifico infine, in merito alla sperimentazione in corso sui primi prototipi di robot esapodi (HB1 e HB2), i risultati attesi riguardano le specifiche caratteristiche del sistema robot-strumentazione di rilevamento (fotocamere, apparati laser scanner 2D, 3D ecc.) orientate all'analisi di ambienti non ispezionabili dall'uomo sia per ragioni di sicurezza che di accessibilità.

In tale ottica la sezione del progetto in esame, in prima battuta, non mira ad ottenere miglioramenti qualitativi o temporali rispetto alle tecniche di rilevamento consolidate, ma è rivolta essenzialmente a definire fattibili procedure metodologiche per eseguire rilievi professionali in particolari ambiti e con controllo da remoto di tutto il processo. Pertanto, di fatto, il sistema in sperimentazione, una volta ottimizzato, dovrà essere in grado di risolvere alcune delle principali problematiche legate al rilievo di siti non direttamente accessibili da operatori umani.

#### NOTE

[1] Cessione di brevetti o licenze, servizi di supporto all'uso, realizzazione di spin-off, facilitazione di start-up locali, valorizzazione delle conoscenze e competenze maturate dalla compagine progettuale.

[2] After dark ha appena conquistato la prima edizione dell'IK Prize, il premio istituito da quest'anno che ricompensa le idee capaci di sfruttare la tecnica digitale e creare un ponte di collegamento tra la Tate Britain, la galleria d'arte di Londra e il grande pubblico (After Dark, 2013).

[3] Il Robot, progettato e realizzato appositamente per Guernica dal Departamento de Conservación-Restauración del Museo- con il supporto di Telefónica - ha sviluppato un sistema di automazione robotica controllato da computer, che si muove con una precisione di 25 micron. Le sue dimensioni sono spettacolari: quasi dieci metri per cinque (1.560 kg di peso). "Un viaje digital al interior del Guernica", por M. Quijano. <http://blogthinkbig.com/guernica-interior-viaje-digital/>.

[4] Tra le apparecchiature prese in esame sono ovviamente comprese tutte le strumentazioni di base necessarie ad effettuare misure dirette ed indirette, nonché apparecchi di primo contatto con le opere da analizzare (fotocamere, telecamere e altri strumenti di ripresa), dispositivi per rilievo strumentale oltre vari modelli (per dimensioni e caratteristiche) di laser scanner lineari e 3D con i relativi software di gestione e di post-processo.

[5] Il centro di Casinum nacque come centro sannita, fu prima occupato dagli Etruschi e poi verso il 272 a.C. dai Romani che ne fecero un castrum, ossia un luogo fortificato creando un insediamento di 4.000 veterani; da prefettura romana Casinum diviene quindi municipium e nel III secolo ottiene il diritto di cittadinanza sine suffragio. Casinum è particolarmente fiorente verso la fine della repubblica e poi in epoca

imperiale, di questo passato rimangono i resti romani della via Appia, dell'Anfiteatro e la tomba di Ummidia Quadrattilla, oltre alla villa dello scrittore romano Terenzio Varrone, vissuto tra il 116 e il 27 a.C. Conosciamo queste emergenze anche attraverso le testimonianze grafiche di rilievo lasciati da molti tra i più grandi maestri del Rinascimento e delle epoche successive che si recavano all'Abbazia per studiare quello che per secoli è stato uno dei monumenti più importanti dell'architettura europea.

[6] Gli autori desiderano ringraziare per la sua disponibilità il Direttore dell'Area Archeologica di Casinum e del Museo archeologico di Cassino, l'arch. Silvano Tanzilli.

[7] Il patrimonio del Fondo Edifici di Culto è costituito da beni di varia natura, principalmente da edifici sacri. Compito del Fondo è di conservare le Chiese aperte al culto, insieme al patrimonio in esse custodito, affidandole in uso all'autorità religiosa e di assicurarne il restauro e la conservazione. Tali edifici, circa 700, sono dislocati su tutto il territorio nazionale e tra essi figurano Abbazie, Basiliche monumentali e Chiese.

[8] La lista del patrimonio mondiale include 981 siti. Attualmente l'Italia è la nazione che detiene il maggior numero di siti (49) inclusi nella lista dei patrimoni dell'umanità.

#### BIBLIOGRAFIA

Carbone Giuseppe, et al. 2007. Operation strategy for a low-cost easy-operation Cassino Hexapod. Applied Bionics and Biomechanics, N. 4, 4, pp. 149-156.

Carbone Giuseppe, Suci Marius, Ceccarelli Marco, Pista Doina, 2009. Design and Simulation of Cassino Hexapode Walking Machine. International Journal of Mechanics and Control, N. 10 2009; pp. 27-34.

Carbone Giuseppe, Tedeschi Franco, 2013. A low cost control architecture

for Cassino Hexapod II. International Journal of Mechanics and Control, vol 14 n. 1, pp. 19-24.

Carbone Giuseppe, Cigola Michela, Tedeschi Franco, 2014. The challenge of architectonic survey and restoration of historical sites for service robotics. In print in Preceeding of IARP. International Advanced robotics program International Workshop. Frascati may 2014.

Ceccarelli M., Cigola M., Service robots for restoration of goods of cultural heritage in Service Robots and Robotics: Design and Application edited by di M. Ceccarelli, published by IGI Global, Hershey, Pennsylvania (USA), 2012; pp. 213-228. ISBN 978-1-4666-0291-5 (hardcover) - ISBN 978-1-4666-0292-2 (ebook); DOI: 10.4018/978-1-4666-0291-5.ch012

Chella Antonio, 2007. CiceRobot: a cognitive robot for interactive museum tours. Industrial Robot, 10/2007; 34(6):503-511. DOI: 10.1108/01439910710832101

Cigola M., Gallozzi A., Nuove tecnologie per l'analisi e la conservazione del patrimonio architettonico In Italian Survey & International Experience. A cura di Paolo Giandebbiaggi e Chiara Vernizzi; Roma Gangemi editore 2014; pp. 795-802. ISBN:88-492-2915-1(hardcover) - ISBN 978-88-492-2915-8 (ebook)

Ceccarelli Marco, Cigola Michela, et al 2002. A study of feasibility of using robots in architecture analysis and survey of a historical pavement. Proceedings of 11th International workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region. Budapest, Budapest Polytechnic Editor, pp. 113-118.

Cigola Michela, Ceccarelli Marco, 2008. A Robot application for analysis, survey and conservation of historical architectures in Robotics and Automation in Construction, edited by C. Balaguer & M Abderrahin, I-Tech Educational and Publishing KG Vienna, Cap. 20, pp. 328-354.

Song S.M., Waldron K., Machines that walk: The adaptive suspension vehicle, MIT Press: Cambridge, 1989; pp.107-112

Zielinska T. 2010. Autonomous walking machine discussion of the prototyping problems. Bulletin of Polish academy of Sciences. Technical Sciences, vol. 58 n. 3, pp. 443-451