

EX MACHINA

**Robot agili e nuovi scenari per la
progettazione architettonica e
ingegneristica**

a cura di

ArchLivIng s.r.l.

Quirino Spinelli, Alessandro Nicastro, Luca Secci, Luigi Borghetti

Alessandro Tassinari

METABUILDING Innovation Ecosystem
SEED Innovation Vouchers
EU Horizon 2020

Questo paper è stato prodotto nell'ambito del progetto Metabuilding, un progetto di H2020, finanziato con fondi europei, in particolare dal Consiglio Europeo dell' Innovazione e Agenzia esecutiva per le PMI (EISMEA).

Gli autori:

ArchLivIng Srl

ArchLivIng è una società di progettazione integrata al suo decimo anno di attività. Nella convinzione che solo un approccio olistico possa affrontare la complessità contemporanea, ArchLivIng guarda al progetto in modo integrato tra le discipline tecniche, con contributi multidisciplinari e secondo un approccio culturale.

L'attività di progettazione è focalizzata sul benessere delle persone che vivranno gli spazi di cui ci prendiamo cura.

Alessandro Tassinari

Consulente specialista in Ricerca e Sviluppo per le Costruzioni e l'Industria 4.0. Collabora con aziende leader in diversi settori - edilizia, automotive, saldatura, ed-tech, additive manufacturing, energia e robotica - nella progettazione, sviluppo e validazione di prodotti innovativi e processi industriali. Dal 2016 collabora con lo studio torinese Carlo Ratti Associati come Head of Digital Prototyping and Fabrication. E' cofondatore di *stampa3d-forum.it*.

INDICE

3	Introduzione
8	PARTE 1 PROCESSI, TECNOLOGIE ABILITANTI E TREND DEL SETTORE
9	Progettazione digitale e uso di sistemi virtuali
11	Automazione e robotica
18	Tecnologie abilitanti all'automazione dei processi nel settore delle costruzioni (all'automazione del processo di costruzione)
21	PARTE 2 ROBOT AGILI, CARATTERISTICHE E AMBITI DI APPLICAZIONE
22	Caratteristiche fisiche, tecniche e applicative
22	Add-ons
28	Specifiche tecniche
31	PARTE 3 AUTOMATIZZARE L'ISPEZIONE E IL MONITORAGGIO DI EDIFICI E STRUTTURE SU LARGA SCALA
34	Casi studio
35	Caso studio 1 - Uso del robot in aree colpite dal sisma, strutture pericolanti, ispezione e rilievo
45	Caso studio 2 - Uso del robot per la raccolta di informazioni su infrastrutture a larga scala
56	Conclusioni
59	Bibliografia



INTRODUZIONE

a sinistra

“Elytra Filament Pavilion”,
costruita nel giardino del
Victoria and Albert Museum
utilizzando un nuovo processo
di produzione robotica (2016)
© Victoria and Albert Museum,
London

È possibile innovare l’ambito della progettazione architettonica e ingegneristica al di là della sola parte software? Questo documento ha come obiettivo l’osservazione, l’analisi, l’interpretazione e la valutazione dell’impatto di sistemi robotici in quell’ampio ventaglio di azioni che compongono il processo di progettazione. Entro l’ipotesi che il fondamentale rinnovamento apportato dall’uso e dal potenziamento dei software di progettazione negli ultimi 20 anni possa essere replicato solo attraverso la digitalizzazione e l’implementazione di nuovi componenti hardware, entro una più fluida e completa ibridazione dei rapporti tra professionista, tecnologie virtuali e tecnologie fisiche.

Al settore AEC (Architecture, Engineering, Construction) è richiesto – oggi più che mai – uno sforzo di rapida digitalizzazione dei processi di progettazione e di costruzione, e delle attività che li compongono. Quest’ampio complesso di elementi richiedono, da una parte, una crescente gestione integrata di tutti gli aspetti progettuali, e dall’altra il controllo e la verifica della trasposizione fisica in ambito costruttivo. Innovare questa complessità è tanto necessario quanto urgente, in ogni parte del mondo occidentale: in Germania il numero di addetti dei reparti di R&D è aumentato in tutti i sottosectori, ovvero del 36% in quello delle costruzioni, del 127% nel settore delle attività tecniche e professionali¹; negli USA, il 29% delle imprese ha dichiarato di investire in tecnologia per integrare le mansioni dei lavoratori e aumentare la produttività e la sicurezza².

La necessità di accesso delle informazioni da remoto, e di collaborazione tra vari professionisti sugli stessi progetti, ha elevato alcuni strumenti tecnologici al grado di nuovi standard per architetti e ingegneri: BIM, *computational design* e anche dati sono oggi strumenti obbligati per mantenere alto il rendimento e la qualità delle attività svolte, oltre che ad accedere a determinati tipi di commesse. La possibilità di tracciare informazioni in modo sempre più rapido e completo, consente di coinvolgere non solo gli strumenti di progettazione - software - utilizzati dai professionisti, ma anche le modalità di lavoro vero e proprio come la progettazione integrata e a le modalità di lavoro agile. Entro una ulteriore automatizzazione capace di sfruttare sistemi avanzati per interpolare le fasi di progetto con i dati

1. European Construction Sector Observatory. “Country profile Germany.” *EC Europa*, 01 2021, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/40681/attachments/1/translations/en/renditions/pdf>. Accessed 27 05 2021.

2. The Associated General Contractors Of America. “Eighty percent of contractors report difficulty finding qualified craft workers to hire as firms give low marks to quality of new worker pipeline.” *agc.org*, 27 08 2019, <https://www.agc.org/news/2019/08/27/eighty-percent-contractors-report-difficulty-finding-qualified-craft-workers-hire-0>. Accessed 25 05 2021.

provenienti direttamente dai *building sites*. Se nella sua parte *off-site* il processo è stato veloce e in qualche modo condiviso tra operatori del settore e istituzioni (europee in primo luogo), l'ambito di quelle operazioni *on-site* direttamente correlate alla progettazione non ha subito lo stesso trattamento. Ad oggi le operazioni di rilievo, controllo e mantenimento sui siti di intervento sono svolte con metodi e strumenti tradizionali, meno efficienti rispetto alle potenzialità offerte dai sistemi digitali disponibili, con attività ripetitive ed esposte ad una varietà di fattori di rischio. Questo divario è ancora maggiore nelle operazioni di cantierizzazione, spesso legate alle tempistiche delle lavorazioni manuali e alle disponibilità di strumentazione e materiali.

Il progetto Metabuilding

Metabuilding è un progetto europeo di messa in rete di aziende del settore delle costruzioni con uno spiccata tensione all'innovazione, entro l'obiettivo di facilitare la collaborazione tra aziende ed esperti per sostenere una maggiore e più rapida innovazione di tecnologie e processi. Gli ambiti di approfondimento previsti sono quattro: riciclo e circolarità; *additive manufacturing*; soluzioni *nature-based* (NBS); *digital industry*.

Archliving Srl è stata selezionata per ottenere un finanziamento SEED³ con lo scopo di incoraggiare lo sviluppo di un progetto condiviso con Alessandro Tassinari, accelerandone lo sviluppo e una successiva integrazione tecnologica nei processi di progettazione dell'azienda. Il Progetto proposto è stato selezionato in base a una serie di criteri che ne definiscono l'impatto sul settore delle costruzioni, la realizzabilità e il potenziale economico.

Obiettivi

L'obiettivo di questo documento è esplorare l'introduzione di sistemi robotici in alcune attività operative e consolidate nella progettazione architettonica e ingegneristica, indagando in particolare le opportunità di applicazione *on-site* e gli effetti sull'ambito progettuale (*off-site*). I sistemi robotici destinati al settore edile non sono molto diversi da quelli già ampiamente diffusi e utilizzati in altri ambiti, uno su tutto quello industriale-manifatturiero⁴: macchine, robot industriali e in generale i sistemi automatizzati sono adoperati in sostituzione di modelli di produzione consolidati e con notevoli benefici di tipo economico e prestazionale (si pensi ad esempio alla stampa 3D o all'uso di robot industriali utilizzati per la produzione e l'assemblaggio di componenti). La stragrande maggioranza degli oggetti disponibili oggi sul mercato è infatti stata prodotta e assemblata da "eserc-

3. "Seed" è un termine mutuato dal linguaggio finanziario. I "seed funds" garantiscono alle imprese un supporto finanziario fino a quando non saranno sostenuti da venture capitalist o da altre istituzioni.

4. Turner, Christopher J., et al. "Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and opportunities." *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 2, 2021, pp. 746 - 756.

ti” di robot, perfettamente “addestrati” a svolgere determinate attività con una supervisione umana minima. Come riportato dall’IFR (International Federation of Robotics), oltre 2,7 milioni di robot industriali sono operativi in fabbriche dislocate su tutto il mondo⁵, introducendo una serie di benefici ben riconosciuti: maggiore efficienza di produzione, un ambiente di lavoro più sicuro, costi inferiori e una qualità superiore.

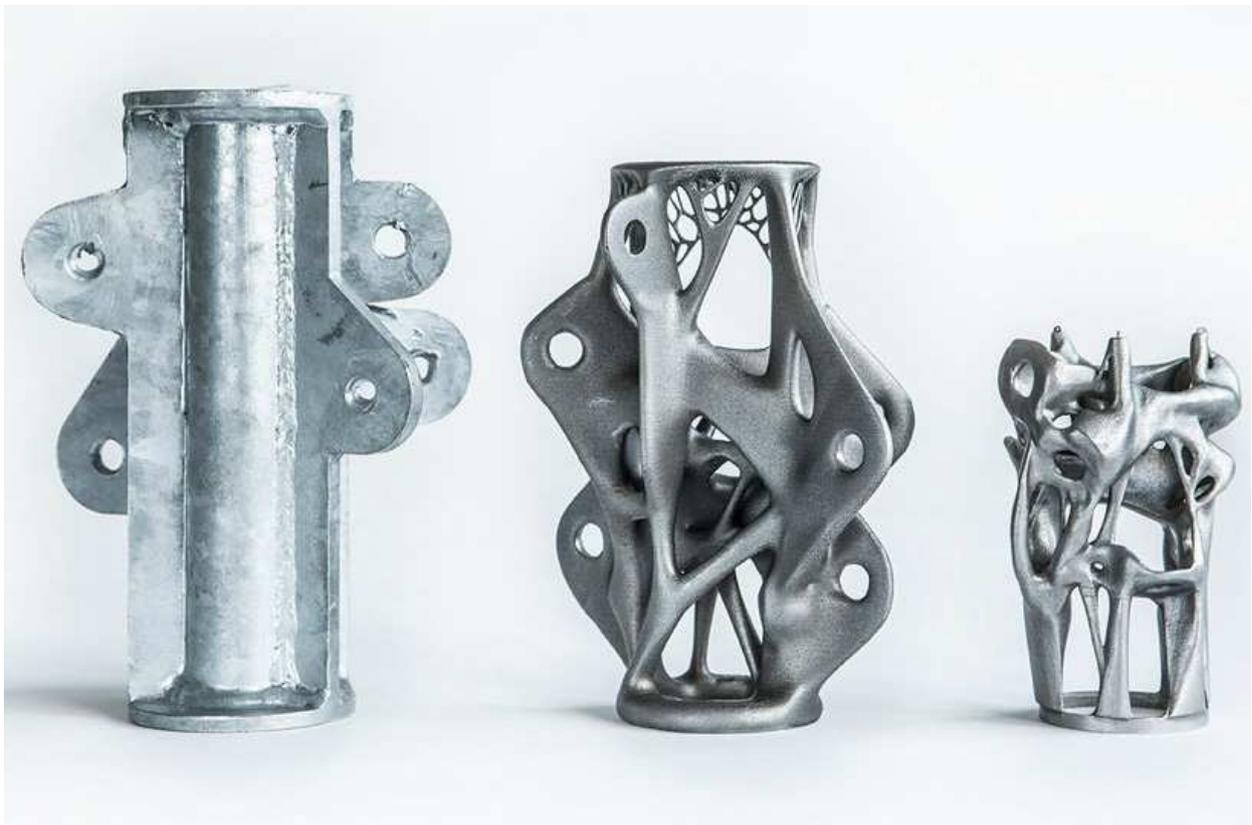
L’impiego di sistemi automatizzati è esplorato anche tra le aziende del settore progettazione-costruzione, sebbene ancora in ambito di ricerca, e orientato ad integrare sistemi tecnologici avanzati nelle attività pratiche e quotidiane: CyBe Construction ha ideato un sistema di stampa 3D robotizzata per materiali cementizi⁶, Construction Robotics⁷ ha ottimizzato un metodo di posizionamento di mattoni con pattern standard, FullStack Modular⁸ ha realizzato metodi di prefabbricazione modulare altamente efficienti. Sistemi di questo tipo costruiscono nuove relazioni tra le fasi di

5. International Federation of Robotics. ““IFR presents World Robotics Report 2020 - Report 2.7 Million Robots Work in Factories Around the Globe.” *ifr.org*, 2020, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/record-2.7-million-robots-work-in-factories-around-the-globe>. Accessed 12 05 2021.

6. cybe.eu/service/3d-printing/

7. www.construction-robotics.com/

8. www.fullstackmodular.com/



Tre elementi strutturali (nodi) in metallo, progettati e stampati in 3D © Arup e Davidfotografie

progetto e di costruzione, tra gli ambienti virtuali e quelli reali, tra lo spazio del modello digitale e di quello fisico.

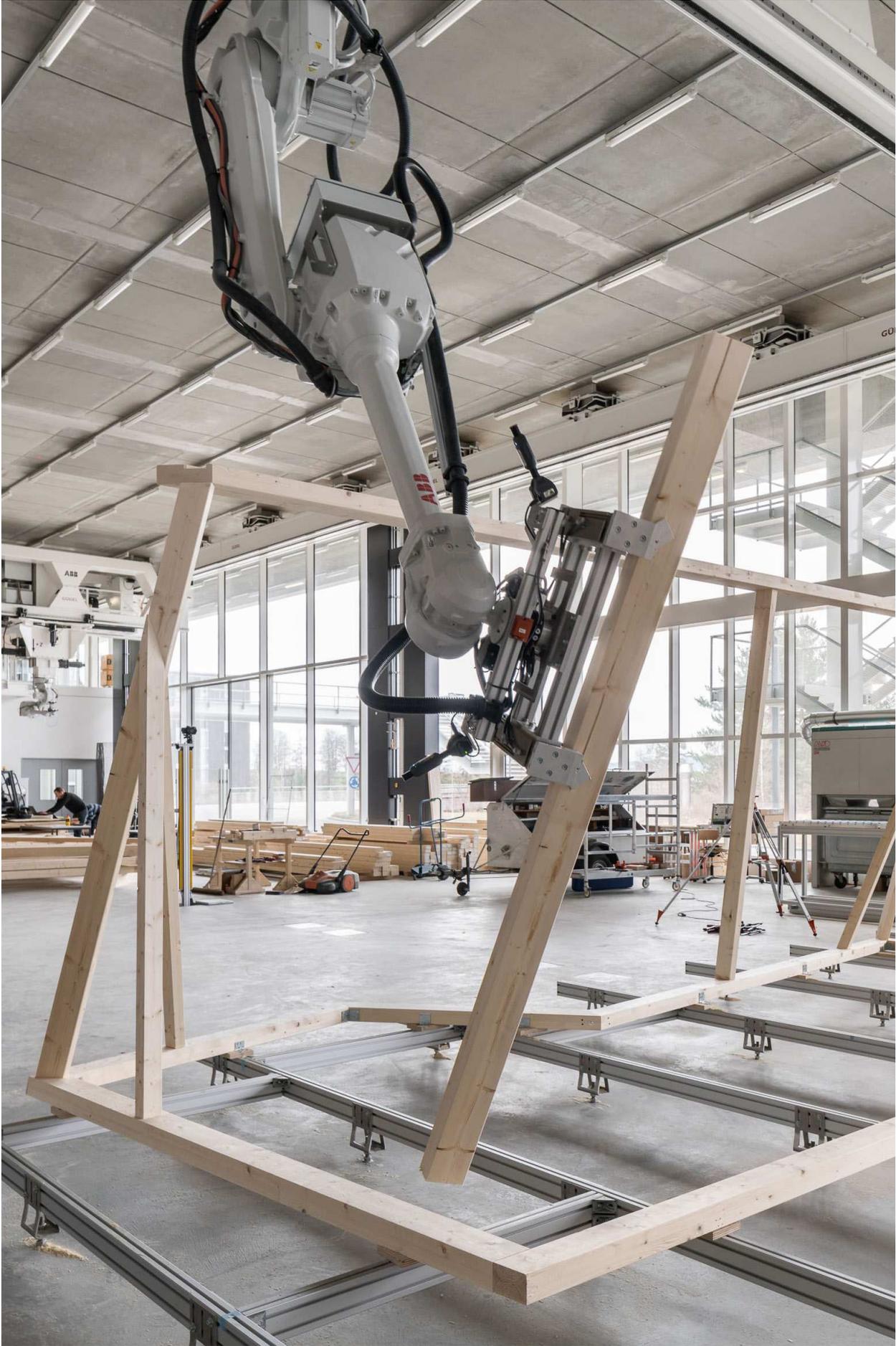
A partire da questo quadro d'insieme, questo scritto focalizza la propria attenzione su tre punti che riguardano proprio l'attività di progettazione: l'automazione rispetto ad attività di rilievo e di ispezione; la possibilità di raccogliere dati *on-site* e di interpolarli con modelli digitali; la possibilità di esplorazione di edifici o infrastrutture senza rischi per gli operatori umani. La scelta è dettata dalla precisa volontà di riportare quest'esplorazione teorica in un contesto quanto più pratico possibile sfruttando l'apporto empirico di due casi studio, entro una individuazione dei benefici e delle criticità che la tecnologia può avere in quelle attività svolte quotidianamente da un alto numero di aziende e professionisti in tutto il mondo.

Pertanto, una prima di questo documento inquadra il campo di indagine, introduce i temi più rilevanti individuati nei trend di settore, e approfondisce e un sistema robotico preciso (il robot agile di Boston Dynamics) capace di adattarsi ad una grande molteplicità di utilizzi pratici. Una seconda parte esplora le possibilità del robot agile dal punto di vista progettuale su due campi operativi reali, ovvero a partire dall'utilizzo del sistema robotico ipotizzato su due casi studio reali per l'attribuzione di valore e una valutazione di benefici e criticità.

In mancanza della possibilità –in questa sede– di attingere ad una sperimentazione pratica, questo documento ha utilizzato dati e informazioni provenienti dalle principali fonti citate nel testo e da report di mercato e settore, raccolte di dati e informazioni private e pubbliche o open-source, da pubblicazioni scientifiche e paper di ricerca, da elaborazioni di pubblicazioni editoriali, cartacee o digitali.

a destra

Robot programmati per costruire moduli portanti in legno, nell'ambito di un progetto dell'ETH di Zurigo per costruzioni residenziali in legno alte tre piani © ETH Zurich

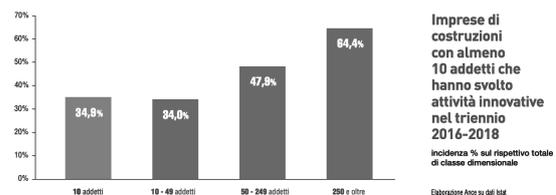
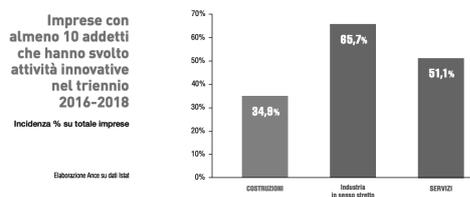
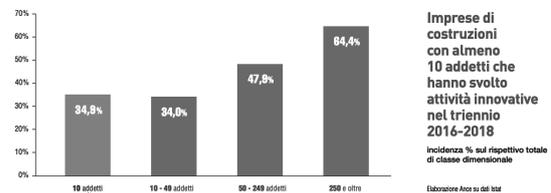
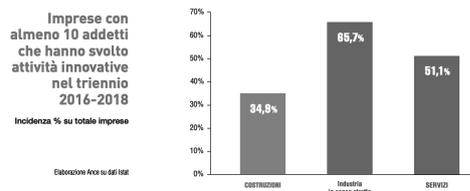


PARTE 1 — PROCESSI, TECNOLOGIE ABILITANTI E TREND DEL SETTORE

Secondo dati Istat, nel triennio 2016-2019, il 34,9% delle imprese di costruzioni (con almeno 10 addetti) ha svolto attività innovative, ovvero circa 6.800 imprese (largamente concentrate, in termini di numerosità, nella fascia 10-49 addetti). Se si guarda al settore denominato “servizi” la quota sale a circa un’impresa su due (51,1%), mentre nell’industria in senso stretto si arriva a circa i due terzi dell’offerta produttiva con più di 10 addetti (65,7%)⁹.

In ognuno di questi settori la tecnologia è utilizzata come vettore principale per il perseguimento di obiettivi precisi attraverso strumenti altrettanto precisi: in primo luogo le tecnologie riescono ad abilitare metodi di lavoro interattivi (che implementano realtà virtuale e aumentata per la visualizzazione e simulazione); in secondo luogo le tecnologie consentono una maggiore connessione tra macchine, equipaggiamenti e risorse umane (attraverso una raccolta di dati accelerata tramite sistemi automatizzati e rilievi autonomi, la connessione e interazione tra strumenti utilizzati e operatori, un uso più consapevole dell’energia, l’ottimizzazione delle performance degli strumenti, l’automazione); in terzo luogo le tecnologie estendono i confini dei modelli produttivi industrializzati (attraverso la produzione in prefabbricazione e fabbricazione additiva)¹⁰.

Alcuni di questi strumenti sono oggi impiegati direttamente per automatizzare e digitalizzare l’ambito della progettazione, altri sono invece in fase di sperimentazione nell’obiettivo di agire in modo profondo sui modi che regolano alcune operazioni, come ad esempio il controllo, il rilievo e la raccolta di dati relativi a cantieri, edifici e infrastrutture.



9. ANCE. *Osservatorio congiunturale sull’industria delle costruzioni*. Direzione Affari Economici, Finanza e Centro Studi, 2021.

10. Wyman, Oliver. *Digitalization of the Construction Industry: the Revolution is Underway*. Oliver Wyman INC, 2018.

Progettazione digitale e uso di sistemi virtuali

Tra gli strumenti parametrici e computazionali, il più conosciuto tra gli operatori del settore è certamente il *Building Information Modeling* (BIM), cardine di un importante processo di digitalizzazione che ha coinvolto sia le fasi progettuali che quelle costruttive. I modelli tridimensionali utilizzati in BIM sono di fatto rappresentazioni di modelli 3D analoghe ad altri software di modellazione, ma in cui ogni elemento è arricchito di informazioni e dati computabili. Per come è strutturato, il BIM offre enormi vantaggi in processi di standardizzazione e prefabbricazione, ricollegandosi direttamente a database di informazioni che possono essere condivisi da fornitori o tramite altri strumenti progettuali. Quando i modelli BIM diventano più elaborati, ovvero nei casi in cui gli elementi del modello 3D sfuggono alla pura categorizzazione del BIM, i progettisti sono costretti ad avvalersi di metodi diversi: qui il *Computational Design* diventa uno strumento efficace per le attività che escono dalla tradizionale attività progettuale, ma che permettono al progettista di mantenere il controllo sulla pianificazione e sulla realizzazione del progetto stesso.

Con la crescita esponenziale della potenza di calcolo, anche nelle fasi progettuali e di design le operazioni sono sempre più complesse, la responsabilità degli strumenti usati è sempre maggiore e l'innovazione di sistemi costruttivi e dei software sempre più rapida. I progettisti sono oggi chiamati ad affrontare operazioni talvolta assimilabili alla programmazione, facendo confluire così le attività di progettazione, produzione, assemblaggio e mantenimento della costruzione, in un *workflow* unico e completamente integrato con tecnologie come l'*Internet of Things* e la robotica.

BIM e Digital Twin

L'implementazione di sistemi virtuali di progettazione (in questo contesto detti "*Virtual Design and Construction (VDC) systems*") ha lo scopo di creare il cosiddetto "digital twin", ossia il gemello digitale dell'edificio fisico. Se il BIM è quel processo di modellazione digitale che integra le informazioni relative alla committenza, alla progettazione, alla realizzazione di un intervento e alla gestione di un'opera edile o una infrastruttura¹¹, è grazie al *digital twin* che è possibile simulare, testare ed elaborare ogni fase di costruzione e montaggio in un ambiente virtuale, anticipando l'effettiva esecuzione delle operazioni *on-site*. Più il "gemello digitale" è accurato, maggiore sarà la possibilità di migliorare l'efficienza delle operazioni da svolgere sul lotto: ad esempio rispetto all'arrivo pianificato di materiali sul sito di costruzione, alla pianificazione di consegne e spostamenti, alla migliore comunicazione tra fornitori e lavoratori. Entro l'obiettivo generale

11. EU BIM Task group: Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector, available from: <http://www.eubim.eu/>

BIM e Digital Twin: Benefici

Maggiore produttività

I sistemi virtuali massimizzano le opportunità legate alla prefabbricazione e permettono ai progettisti di pianificare accuratamente l'intera sequenza di assemblaggio e costruzione;

Riduzione dei costi

Gestire lo scambio di informazioni tra i vari soggetti che orbitano attorno al progetto su un'unica piattaforma porta a una migliore comunicazione e a conseguenti ottimizzazioni su tutte le fasi di progetto;

Riduzione della manodopera

Massimizzando le opportunità di prefabbricare si riduce la necessità di manodopera on-site, ottimizzando l'intero processo di costruzione.

di ridurre sprechi, energia, lavoro e costi. La modalità di progettazione virtuale BIM è supportata a livello europeo dall'*European Committee for Standardization* e dall'*EU BIM Task Group*¹², mentre in Italia sono stati attuati piani pluriennali per incentivarne l'adozione¹³. In questo scenario il BIM non è solo utilizzato come sistema intelligente per progettare, ma anche come strumento per pianificare le operazioni pratiche e gestionali da svolgere sul sito di intervento durante la costruzione.

Computational Design

Grazie al *Computational Design*, che sfrutta strumenti digitali all'interno del processo progettuale, è possibile gestire con estrema flessibilità le componenti del progetto¹⁴, diventando dei veri e propri programmatori di logiche e processi¹⁵. I sistemi di *Computational Design*, infatti, permettono di realizzare geometrie complesse, scrivere codice di programmazione o estrapolare dati dalla rete, definendo parametri e relazioni tra le variabili di progetto¹⁶.

12. Panteli, C., Polycarpou, K., Morsink-Georgalli, F. Z., Stasiuliene, L., Pupeikis, D., Jurelionis, A., & Fokaidis, P. A. (2020). *Overview of BIM integration into the Construction Sector in European Member States and European Union Acquis*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 410, 012073.

13. BIMidea, *La Normativa UNI 11337*, consultato il 20 maggio 2021, <https://www.bimidea.it/uni11337/>

14. Paynter, H. M. *Analysis and Design of Engineering Systems*. Cambridge, MA, MIT Press, 1961.

15. Kojima, Kazuhiro. "Generative Process of Architectural Configurations." *Empathic Space - The Computation of Human-Centric Architecture*, Architectural Design, 2014, pp. 38-45.

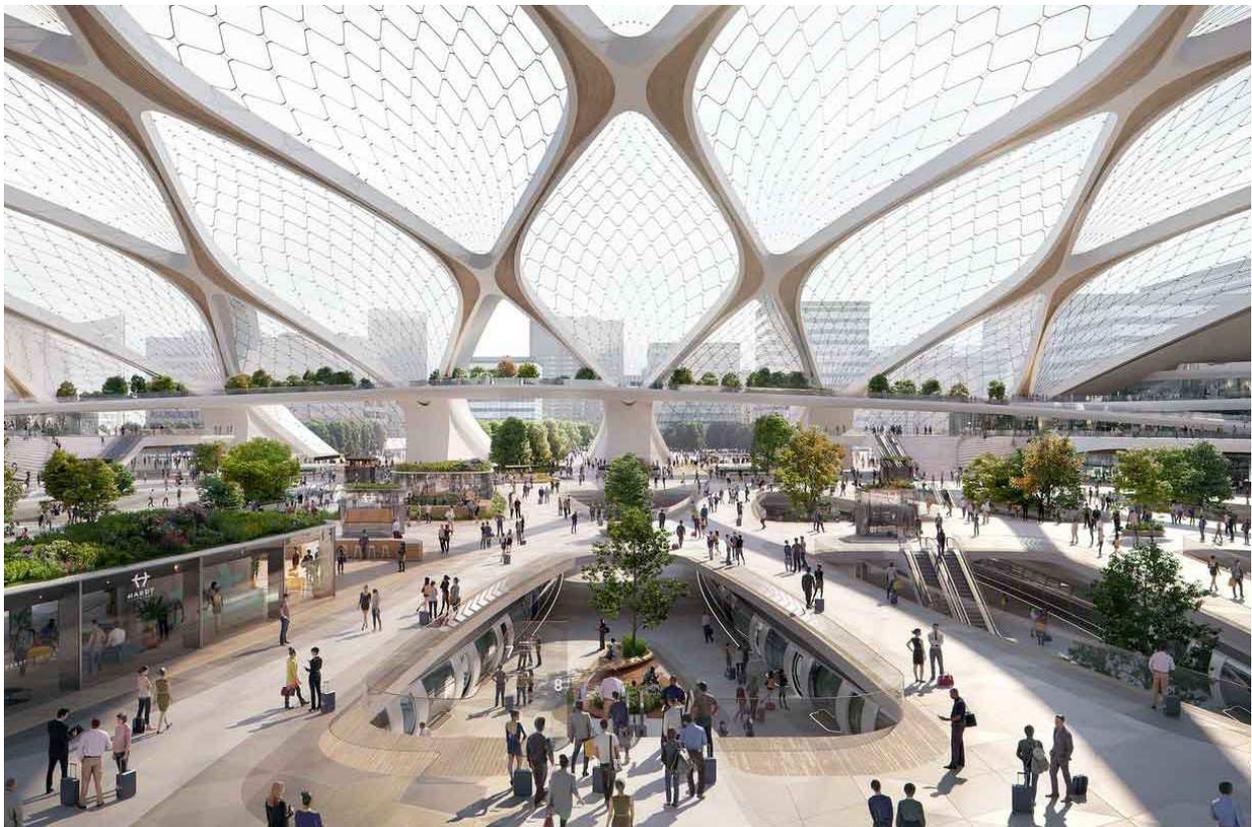
16. Cagan, Jonathan, et al. "A Framework for Computational Design Synthesis: Model and Applications." *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 5, no. 3, 2005, pp. 171-181.

Automazione e robotica

Nel quadro di innovazione nei processi progettuali legati all'architettura e all'ingegneria, la combinazione di BIM e *Computational Design* genera un vasto spettro di vantaggi grazie a ciò che si potrebbe definire una “modellazione informata” insieme a quelli ancora poco esplorati della “programmazione generata”¹⁷. Da qui, ovvero a partire proprio dalle opportunità offerte alla fase di design, è possibile senza sforzo immaginare prossimi scenari evolutivi capaci di integrare anche tecnologie di *machine learning*¹⁸. È quindi il computer a imparare dall'esperienza progettuale svolta attraverso algoritmi che usano metodi matematico-computazionali, per apprendere informazioni direttamente dai dati. Il trend del futuro vedrà la ricerca di una sempre maggiore interazione tra uomo e macchina, in uno scenario di Co-Design in cui progettista e software cooperano creativa-

17. Tassinari, Alessandro. *Costruzione Robotica e Stampa 3D nel Futuro dell'Architettura*. 2016.

18. Vale, Christopher A. W., and Kristina Shea. *A Machine Learning-Based Approach to Accelerating Computational Design Synthesis*. Stockholm, INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN ICED 03, 19-21 August 2003.



Progetto di visione per un hub di trasferimento hyperloop, per il collegamento Amsterdam-Francoforte. © UNStudio

Computational Design: Benefici

Controllo completo su geometrie e logiche di risoluzione

Il progettista scrive gli algoritmi che elaborano e generano le geometrie tridimensionali. Questo offre una grande libertà di gestione e controllo;

Controllo sulla programmazione

Le macchine sono programmate all'interno di un ambiente tridimensionale e solitamente integrate in ambienti digitali che riproducono spazi esistenti;

Risoluzione integrata di problemi

L'intelligenza artificiale aiuta a risolvere problematiche in contesti complessi.

mente alla definizione del progetto¹⁹.

Nuovi ambiti di applicazione

Data la possibilità dei robot di mostrarsi sotto forme diverse a seconda delle specifiche necessità - si pensi alle evidenti differenze tra robot umanoidi, Mobile Industrial Robots, robot industriali o alle automobili di guida autonoma - l'automazione e la robotica si fondano sulla capacità di essere integrabili e in modo progressivo rispetto tanto alle fasi progettuali quanto a quelle realizzative di un'opera²⁰.

Per quanto riguarda l'ambito della progettazione, l'interazione tra progettista e Intelligenza Artificiale favorisce la realizzazione di output indirizzati all'ottimizzazione delle risorse di progetto. In questa fase, rientrano tecnologie di Computational Design, Generative Design, BIM, rilievo 3D, inseriti nell'ambito di trend riconosciuti, quali:

- Progettazione assistita
 - Introduzione di sistemi intelligenti a supporto dell'attività di progettazione;
- Progettazione informata
 - Introduzione di database e informazioni relative a fornitu-

19. Zhang, Ye, et al. *Digital Twin in Computational Design and Robotic Construction of Wooden Architecture*. no. Digital Twin Technology in the Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry, 02 April 2021.

20. Daas, Mahesh, and Andrew John Wit. *Towards a Robotic Architecture*. First ed., Novato, USA, Applied Research and Design Publishing, 2018.

- re, materiali, costi di progetto;
- Integrazione di informazioni ambientali rilevate tramite sensoristica, scansioni 3D o fotogrammetria;
- Prototipazione
 - Utilizzo di tecnologie digitali per la realizzazione di modelli, con obiettivi di studio e validazione di caratteristiche di prodotto;
 - Utilizzo di tecnologie digitali per la realizzazione di modelli, con obiettivi di validazione di processo produttivo²¹.

Sugli aspetti più prettamente riconducibili all'ambito costruttivo, per migliorare l'efficienza e i risultati ottenibili da lavorazioni di produzione o finitura, è possibile usufruire di robot mobili o droni utilizzati per realizzare finiture interne o esterne (ad esempio per la verniciatura o la piastrellatura, stampanti 3D, fresatrici e sistemi per il taglio a caldo). Più nello specifico, potremmo identificare i seguenti trend:

- Produzione + finitura
 - Introduzione della robotica per ridurre la dipendenza dal lavoro fisico;
 - Introduzione della robotica per ridurre il tempo di realizzazione;

21. Tierney, Thèrèse F. *Intelligent Infrastructure: zip cars, invisible networks, and urban transformation*. First ed., University of Virginia Press, 2016.

Strumenti tecnologici: Benefici

Miglioramento delle prestazioni nella fase di costruzione.

L'automazione garantisce il raggiungimento degli obiettivi preposti con maggiore produttività e in minor tempo rispetto alle tecniche tradizionali;

Manodopera altamente specializzata

Integrare processi di automazione significa ridurre la necessità di lavoratori con capacità di base, creando però posizioni di lavoro molto attrattive e stimolanti per lavoratori specializzati;

Innovazione di linguaggio

Grazie all'adozione di tecniche avanzate per la fabbricazione, l'assemblaggio e la realizzazione di specifiche attività, i progettisti possono esplorare un maggior numero di materiali, forme e processi, riducendo la necessità di standardizzare la loro attività e producendo progetti più riconoscibili e di valore.

- Introduzione della robotica per realizzare componenti personalizzate e poco comuni.
- Realizzazione di stampi per geometrie complesse
 - Introduzione della stampa 3D per produrre stampi fatti su misura e con forme complesse.
- Fabbricazione di componenti
 - Uso di stampa 3D per realizzazione componenti costruttive;
 - Uso di stampa 3D per realizzare elementi di supporto alla costruzione²².

Altro aspetto riguarda invece i processi di DfMA²³, ovvero l'utilizzo di sistemi di automazione e robotica *on-site* per migliorare la produttività attraverso veicoli autonomi per il trasporto di materiali e elementi da assemblare, l'automazione di sistemi di monitoraggio e management su larga scala per progetti di infrastrutture, ecc. Anche qui, possiamo identificare dei trend:

22. Sheil, Bob, et al. *Fabricate 2017*. London, UCL Press, 2017.

23. Design for Manufacturing and Assembly (progettazione per la fabbricazione e l'assemblaggio)



a sinistra realizzazione di una parete in cemento stampata in 3D © Etesias.
a destra DFAB-House dell'ETH-Zurich © ETH Zurich

- Robot per il rilievo → Rilievo di misure, dati spaziali, superfici, su piccole o grandi aree, così da ridurre il tempo d'impiego della forza lavoro umana;
- Robot per il trasporto pesante → Sistemi di trasporto automatizzati per il carico e scarico di materiali sul lotto di costruzione;
- Robot per l'assemblaggio / macchinari smart → Strumenti e macchinari smart possono svolgere funzioni collaborative andando in aiuto dei lavoratori on-site, ad esempio nell'assemblaggio di componenti, assicurando l'uso di una sequenza prestabilita e del posizionamento previsto²⁴;
- Supervisione digitale → Robot e droni possono facilmente muoversi nel lotto di costruzione, monitorando e misurando la progressione della costruzione, salvaguardando la sicurezza dell'ambiente di lavoro e dei lavoratori stessi identificando eventuali rischi.

Infine, per quanto concerne il monitoraggio e il management delle opere in fase di realizzazione, automazione e robotizzazione possono provvedere

24. Parascho, Stefana, et al. "Cooperative Fabrication of Spatial Metal Structures." *Fabricate 2017*, UCL Press, 2017, pp. 24-29.



principalmente alla raccolta dati direttamente dal cantiere, procedendo poi con la loro relativa conversione in informazioni utili, accessibili e aggregabili. Nello specifico, possiamo individuare i seguenti trend:

- Robot per l'ispezione in ambito di ingegneria civile → Robot mobili o droni in grado di fare ispezioni durante la fase di costruzione;
- Facility management robot Robot mobili o droni in grado di azione;
- Introduzione della robotica per realizzare componenti personalizzate e poco comuni.
- Realizzazione di stampi per geometrie complesse
- Introduzione della stampa 3D per produrre stampi fatti su misura e con forme complesse.
- Fabbricazione di componenti
- Uso di stampa 3D per realizzazione componenti costruttive;
- Uso di stampa 3D per realizzare elementi di supporto alla costruzione²⁵.

25. Sheil, Bob, et al. *Fabricate 2017*. London, UCL Press, 2017.



a sinistra hot wire cutting robotizzato con il robot ABB IRB 120 ©ABB Robotics

a destra Il braccio robotico MetalXL, unito ad un apposito software, consente di produrre elementi metallici tramite stampa 3D © MX3D

Altro aspetto riguarda invece i processi di DfMA²⁶, ovvero l'utilizzo di sistemi di automazione e robotica *on-site* per migliorare la produttività attraverso veicoli autonomi per il trasporto di materiali e elementi da assemblare, l'automazione di sistemi di monitoraggio e management su larga scala per progetti di infrastrutture, ecc. Anche qui, possiamo identificare dei trend:

- Robot per il rilievo → Rilievo di misure, dati spaziali, superfici, su piccole o grandi aree, così da ridurre il tempo d'impiego della forza lavoro umana;
- Robot per il trasporto pesante → Sistemi di trasporto automatizzati per il carico e scarico di materiali sul lotto di costruzione;
- Robot per l'assemblaggio / macchinari smart → Strumenti e macchinari smart possono svolgere funzioni collaborative andando in aiuto dei lavoratori on-site, ad esempio nell'assemblaggio di componenti, assicurando l'uso di una sequenza prestabilita e del posizionamento previsto²⁷;
- Supervisione digitale → Robot e droni possono facilmente muoversi nel lotto di costruzione, monitorando e misurando la progressione della costruzione, salvaguardando la sicurezza dell'ambiente di lavoro e dei lavoratori stessi identificando eventuali rischi.

Infine, per quanto concerne il monitoraggio e il management delle opere in fase di realizzazione, automazione e robotizzazione possono provvedere principalmente alla raccolta dati direttamente dal cantiere, procedendo poi con la loro relativa conversione in informazioni utili, accessibili e aggregabili. Nello specifico, possiamo individuare i seguenti trend:

- Robot per l'ispezione in ambito di ingegneria civile → Robot mobili o droni in grado di fare ispezioni durante la fase di costruzione;
- Facility management robot → Robot mobili o droni in grado di accedere ad aree disconnesse o difficili/pericolose da raggiungere^{28,29}.

26. Design for Manufacturing and Assembly (progettazione per la fabbricazione e l'assemblaggio)

27. Parascho, Stefana, et al. "Cooperative Fabrication of Spatial Metal Structures." *Fabricate 2017*, UCL Press, 2017, pp. 24-29.

28. Daas, Mahesh. "Being thinking doing becoming: framing robotics in architecture." *Towards a Robotic Architecture*, Applied Research and Design Publishing, 2018, pp. 12-27.

29. Daas, Mahesh, and Andrew John Wit. "Robotic Architecture." *Towards a Robotic Architecture*, Applied Research and Design Publishing, 2018, pp. 140-213.

TECNOLOGIE ABILITANTI ALL'AUTOMAZIONE DEL PROCESSO DI COSTRUZIONE

Internet of Things

Con Internet of Things (IoT) ci si riferisce a dispositivi fisici che sono in grado di connettersi alla rete Internet. Questi possono comunicare tra loro o con altri dispositivi collegati in rete.

L'IoT espande le potenzialità di Internet, al di là dei dispositivi tradizionali, ad una vasta gamma di oggetti di uso quotidiano (termostati, automobili, illuminazione domestica, etc.), che diventano capaci di comunicare con uno o più dispositivi, inviare, ricevere e elaborare pacchetti dati.

RFID

La Radio Frequency Identification (“identificazione a radiofrequenza”) è un sistema per trasmettere dati in modalità wireless, utilizzando campi elettromagnetici a radiofrequenza. Lo scopo dell'RFID è identificare e tracciare le informazioni memorizzate elettronicamente all'interno di piccole etichette associate a oggetti o punti dislocati nello spazio. Queste etichette possono essere lette, registrate o riscritte, sovrascrivendone i dati contenuti.

Le etichette RFID sono comunemente collocate su prodotti commerciali, pacchetti, strutture e persino sugli animali, solitamente con lo scopo di identificare gli oggetti interrogati. Fisicamente, le etichette consistono in un piccolo chip elettronico, a volte più piccolo di un chicco di riso.

Advanced Human Machine Interface

L'interfaccia uomo-macchina (HMI) è un sistema che consente all'uomo di interagire con una o più macchine, attraverso punti di contatto come display touch, pulsanti, sistemi di controllo mobili o computer con tastiera. Le nuove soluzioni HMI sono implementate come parte delle macchine stesse e, solitamente, si possono configurare per inviare dati al cloud o a una soluzione locale. Con

l'avvento dell'IoT, sempre più clienti si aspettano che le HMI industriali funzionino come i loro smartphone, ovvero offrendo opzioni di visualizzazione intuitive e siano facilmente collegabili in rete con altri componenti.

Cloud Computing

Col termine "Cloud Computing" s'intende l'uso di vari servizi, come piattaforme di sviluppo software, server, storage e software, messi a disposizione tramite Internet. La caratteristica principale di un servizio in Cloud è l'accessibilità globale, ovvero la possibilità di accedere alle informazioni da qualsiasi terminale e da qualsiasi parte del mondo. La posizione fisica dell'hardware, di erogazione del servizio e altri dettagli tecnici sono in gran parte irrilevanti per l'utente, il quale usufruisce del servizio esclusivamente per sfruttare nel modo più efficiente possibile la potenza di calcolo messa a disposizione dal fornitore.

Big Data

La connessione ad internet genera sempre più dati, sempre più ricchi di informazioni e voluminosi, al punto da renderne difficoltosa la salvaguardia e la corretta analisi. I Big Data sono questi insiemi di dati grandi e complessi, provenienti da fonti di diverso tipo e riportanti informazioni molto diverse tra loro. Questi set di dati sono così voluminosi che i tradizionali software di elaborazione dati non riescono a gestirli, ma rappresentano allo stesso tempo un asset di grande valore per le aziende. Se analizzati e utilizzati in modo corretto e approfondito, permettono di avere tra le mani informazioni di dettaglio estremamente precise e di grande rilievo per lo svolgimento di operazioni tecniche o di business.

Robotica collaborativa

I robot collaborativi (*cobot*) sono caratterizzati sono robot facilmente programmabili e presentano modalità di interazione uo-

mo-macchine estremamente semplificate. È una tecnologia dotata di sensori e sistemi intelligenti di elaborazione dati, che li rendono le macchine "sensibili" alle informazioni e all'ambiente che le circonda, rendendole più sicuri e capaci di interagire.

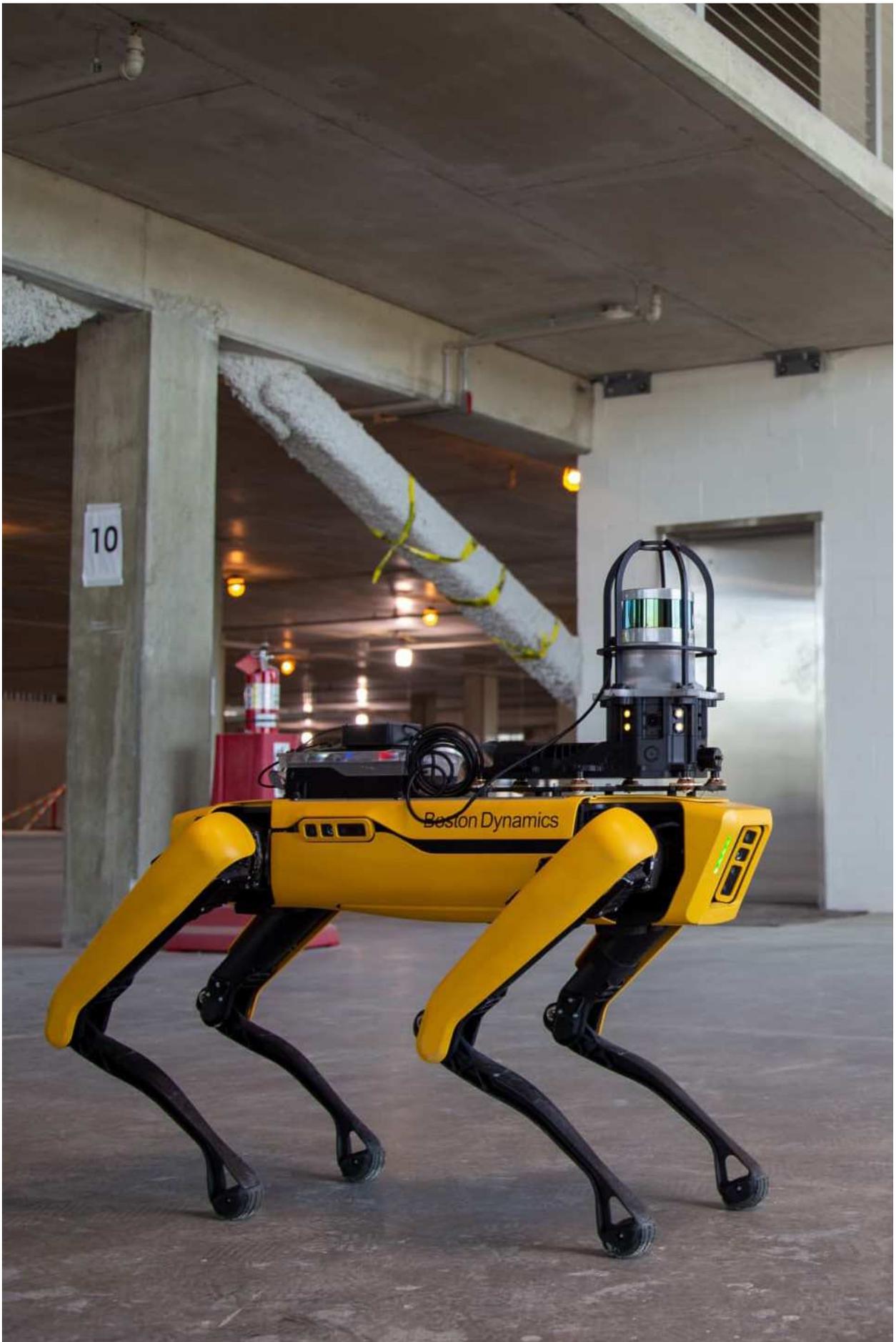
Machine Learning e Deep Learning

Il Machine Learning e il Deep Learning sono tecnologie ascrivibili all'ambito dell'intelligenza artificiale, e in stretta correlazione con l'elaborazione dati. Entrambi sono algoritmi avanzati che permettono a macchine virtuali di acquisire informazioni, analizzarle, dividerle secondo parametri di rilievo e, infine, di imparare da esse. Il risultato di queste forme di intelligenza artificiale sono elaborazioni di modelli che si migliorano e arricchiscono di dettagli grazie alle operazioni svolte dalla macchina. In un certo senso, non è più l'uomo a svolgere l'intera fase di elaborazione modelli, ma è la macchina stessa a definirli e migliorarli costantemente tramite la sua esperienza.

Realtà Virtuale e Realtà Aumentata

Ormai diventati d'uso comune, i sistemi di realtà virtuale e realtà aumentata permettono agli operatori di visualizzare informazioni intrinseche a oggetti dislocati nello spazio, offrendo numerose opportunità di interazione con gli oggetti stessi.

Questi sistemi possono essere collegati in rete a database e modelli tridimensionali "informati": le informazioni sono messe a disposizione dell'operatore, il quale può usarle per svolgere le proprie attività e avere letteralmente sott'occhio file di registro, schede tecniche, parametri elaborati in tempo reale.



a sinistra

Spot di Boston Dynamics
© Boston Dynamics

PARTE 2 — ROBOT AGILI, CARATTERISTICHE E AMBITI DI APPLICAZIONE

Così come la diffusione capillare dei computer ha mutato in modo radicale metodi, tempi e procedure della progettazione, nel prossimo decennio l'introduzione della robotica applicata anche a quest'ambito potrebbe costituire un rinnovato *turning point* e produrre nuove e importanti conseguenze in termini di innovazione.

Entro tale prospettiva, questo documento fa riferimento ad un tipo di robot in particolare: il cosiddetto *robot agile*. Nella letteratura di settore, il termine “robot agile” è utilizzato in riferimento a diverse tipologie di robot: robot antropomorfi, robot collaborativi, robot umanoidi^{30,31}. All'interno di questo documento, col termine “robot agile” ci si riferisce a un supporto tecnologico dotato di componenti *hardware* e sistemi *software* avanzati, capaci sia di dialogare tra loro sia di interfacciarsi con sistemi esterni (come reti e sensori). In questo modo, i robot agili sono in grado di effettuare sì operazioni complesse, ma soprattutto di essere potenzialmente cruciali nello svolgimento di una vasta gamma di attività all'interno di spazi fisici, dove possono muoversi liberamente e in modo “consapevole”. I *robot agili* oggi disponibili sul mercato offrono una grande versatilità e diversità di applicazioni pratiche, e sono capaci di affiancare o sostituire l'uomo nello svolgimento di attività soggette a differenti gradi di rischio oppure esposte a un grande dispendio di tempo. In che modo l'uso dei robot può modificare direttamente aspetti di design e modalità operative sul progetto, e dove possiamo realisticamente aspettarci di vederli in un futuro prossimo?

Il robot agile preso in considerazione in questo documento è il modello quadrupede Spot, prodotto dall'azienda americana Boston Dynamics³², con sede nella cittadina di Waltham nel Massachusetts. Si tratta di un robot dotato di movimento su quattro arti robotici e con un corpo compatto e orizzontale. La fattura meccanica e le caratteristiche di movimento, come capita spesso nell'ambito della robotica, si rifanno alle capacità di movimento di corpi esistenti, come quello umano e animale. Per la sua conformazione fisica, infatti, che collega un corpo centrale a quattro “gambe”, il robot Spot viene spesso chiamato in modo informale “robot cane”.

30. Harrison, W., et al. “The Agile Robotics for Industrial Automation Competition.” *AI Magazine*, vol. 39, no. 4, 2018, pp. 73-76.

31. Downs, Anthony, et al. “Assessing Industrial Robot agility through international competitions.” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 70, no. 1, 2021, pp. 102-113. *Science Direct*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584520303239>. Accessed 1 giugno 2021.

32. Boston Dynamic, Spot: <https://www.bostondynamics.com/solutions/inspection>, visitato il 04/06/2021

A differenza di altri sistemi robotici che hanno visto tentativi di applicazione nel campo delle costruzioni, il robot agile di Boston Dynamics – così come qualsiasi altro robot agile dotato di caratteristiche simili – è strutturato per essere un sistema *aperto*, ovvero in grado di ospitare supporti tecnici di tipo diverso e quindi di dialogare con sistemi esterni. La capacità di effettuare operazioni complesse è resa possibile tramite ciò che potremmo enfaticamente definire “consapevolezza interna” –resa possibile da un’intelligenza artificiale integrata performante– che lo rende particolarmente interessante campo d’applicazione dei nostri casi studio.

Caratteristiche fisiche, tecniche e applicative

I robot agili come quelli messi a disposizione da Boston Dynamics presentano delle caratteristiche standard, che possono essere ampliate se messe in connessione con altri strumenti come bracci robotici, scanner 3D, sensori di diverso tipo. Il setup utilizzato e integrato col robot agile dipende quindi dalle attività che si necessita svolgere. Il robot può così effettuare operazioni per le quali è programmato.

Il robot agile Boston Dynamics Spot ³³ viene fornito nel formato “Explorer”, versione progettata per sviluppatori interessati a indagare le opportunità offerte dal robot agile e a sviluppare sistemi a seconda delle proprie esigenze. Il robot viene fornito pronto all’uso, come una sorta di modalità *plug&play*. Il costo di questa versione base senza accessori è di \$ 74.500.

Spot Explorer è consegnato con una serie di accessori: due batterie e il caricabatterie; un tablet controller; un contenitore per il trasporto del robot; un contenitore per il trasporto delle batterie e del caricabatterie, un pannello di calibrazione, pacchetti di sistema API Python client, i software updates.

Una seconda versione, chiamata Spot Enterprise, prevede la fornitura di un pacchetto dedicato alle aziende con la fornitura di batterie più performanti e una docking station dove il robot si posiziona quando entra in stand-by o deve ricaricarsi.

Add-ons

Pensato quindi per essere una piattaforma implementabile, il robot agile di Boston Dynamics può avvantaggiarsi di strumentazione aggiuntiva e pezzi di ricambio:

- Spot leg panels - pannelli protettivi per la parte superiore delle 4 gambe del robot - \$ 1.000;

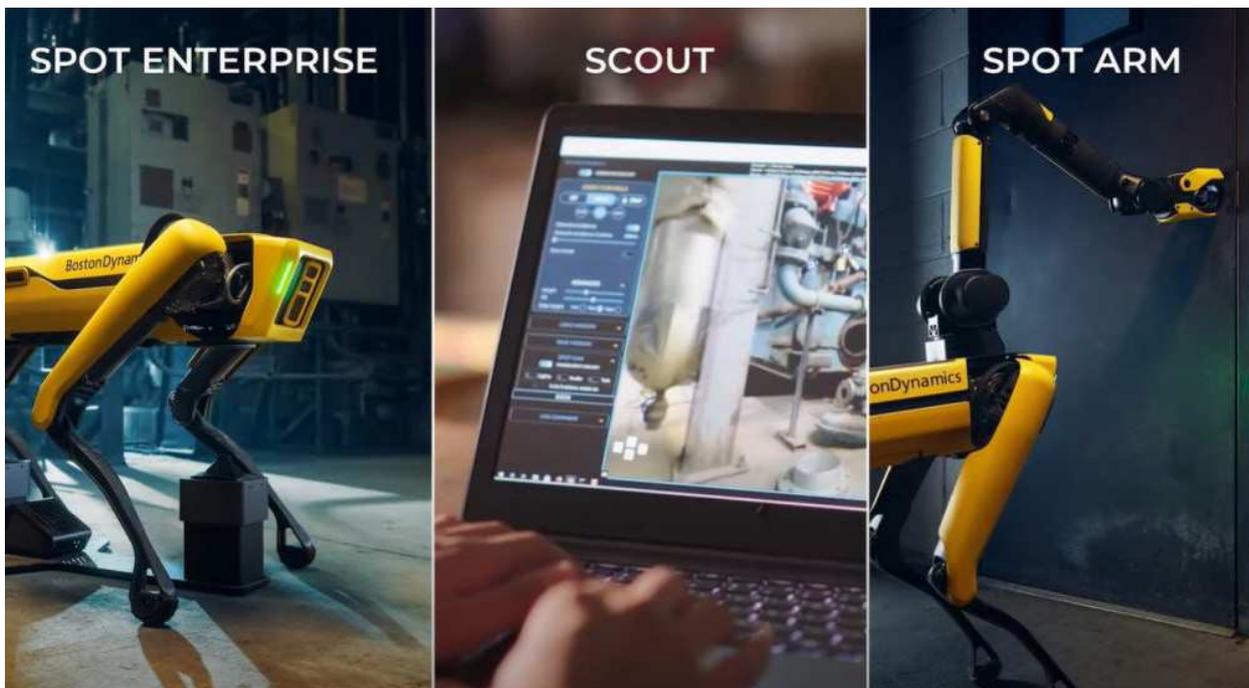
33. Boston Dynamics. “Spot.” *shop.bostondynamics.com*, 2021, <https://shop.bostondynamics.com/spot>. Accessed 01 06 2021.

- Spot front/rear panels - pannelli protettivi aggiuntivi per il fronte e il retro del robot - \$1.600;
- Spot tablet - tablet controller aggiuntivo, configurato con applicazioni - \$ 410
- Spot Care - premium service plan, fornisce un anno aggiuntivo di garanzia e assistenza - \$ 15.000;
- Spot Battery - batteria aggiuntiva da 605 Wh - \$ 4.620;
- Spot Charger - sistema di ricarica aggiuntivo - \$ 1.650;
- +Ports - aggiunge una uscita ethernet e una uscita con potenza regolabile - \$ 1.275.

Oltre ai normali pezzi di ricambio e componenti aggiuntivi, sono disponibili una serie di pacchetti che dotano il robot agile di strumenti e capacità differenti. Questi pacchetti sono pronti all'uso a seguito di una fase di setup e aperti a programmazioni personalizzate.

Visibilità e controllo a 360°

Il pacchetto “+Awareness” comprende un sistema di fotocamere per visibilità a 360° che offre completa visibilità attorno al robot durante le operazio-



ni, chiamato Spot CAM³⁴, e che può essere utilizzato anche per comandare il robot da remoto. All'interno si trovano anche una serie di microfoni ad alta sensibilità e degli speaker, utili per l'interazione tra operatori da remoto e on site. Spot CAM è un sistema completamente integrato nel controller tablet in dotazione. In questo modo il controllo da remoto è agevolato dallo stream video visualizzabile direttamente sul tablet. Durante le operazioni, è possibile fare fotografie ad alta qualità.

Spot CAM è quindi un sistema progettato per raccogliere dati e informazioni video-fotografiche, ideale soprattutto in quelle situazioni ad alto rischio per l'essere umano. I sensori d'immagine sono ottimizzati per funzionare anche in caso di poca luminosità. Inoltre, è previsto un sistema di illuminazione LED, che garantisce operatività anche al buio. Spot CAM può operare tra i -20 e i 45 °C, ha una protezione IP65. - \$21.800.

34. Boston Dynamics. "Spot CAM." *Boston Dynamics*, 2021, <https://shop.bostondynamics.com/spot-cam>. Accessed 01 giugno 2021.



Un'attività di testing presso il cantiere di Battersea Power Station a Londra (progetto di Foster + Partners) ©Boston Dynamics e Foster+Partners

Ispezione avanzata

+Inspection - Il sistema Spot CAM+ ³⁵ è il più avanzato attualmente disponibile, particolarmente indicato per applicazioni di controllo e ispezione avanzate. La fotocamera integrata può raccogliere informazioni a 360° durante il controllo da remoto del robot. La camera integrata di tipo pan-tilt-zoom (PTZ) a colori offre uno zoom ottico 30x, ideale per ispezioni dettagliate anche a distanza. Anche in questo caso troviamo microfoni e speaker integrati, utili nell'interazione tra operatori on site e da remoto. E' possibile registrare video e scattare fotografie durante il controllo da remoto, in streaming direttamente dal controller tablet in dotazione. Il sistema è dotato di illuminazione LED per operare anche in caso di mancanza di luce, protezione IP65 e opera tra i -20 e +45 °C.

Spot CAM+ si apre anche agli sviluppatori utilizzando la sua API GRPC, disponibile via Spot SDK. Audio e video stream utilizzano WebRTC per una massima integrazione di sistema. - \$ 29.750.

Copertura ambienti aperti e siti di grandi dimensioni

+Lidar - La tecnologia Lidar - Light Detection and Ranging - è un metodo utilizzato per determinare le distanze variabili tramite laser, misurando il tempo che la luce riflessa impiega a tornare al ricevitore. Questo sistema migliora le prestazioni del robot negli spazi di grandi dimensioni, dove i sensori integrati faticerebbero a mantenere alte le proprie performance.

Il sistema Spot EAP ³⁶ (Enhanced Autonomy Package) migliora l'autonomia del robot permettendogli di creare mappe digitali più grandi e accurate. Le fotocamere integrate standard in Spot, infatti, presentano una limitata capacità operativa di 4 metri, ideale per il rilievo di spazi chiusi di dimensioni medio-piccole come uffici, abitazioni, edifici industriali. La tecnologia Lidar consente di ampliare notevolmente questo margine fino a un'ampiezza di 100 metri, ideale per la raccolta di dati in spazi di ampie dimensioni sia indoor che outdoor. Spot EAP include una CPU e Velodyne Lidar preconfigurato. - \$ 18.450.

Processore per operazioni computazionali on-robot

+Edge CPU - Spot CORE ³⁷ va ad aggiungere una CPU integrata al robot, utile per attivare operazioni computazionali on-robot. Il sistema è aperto ai programmatori, i quali possono caricare i propri software e farli funzio-

35. Boston Dynamics. "+Inspection." *Boston Dynamics*, 2021, https://shop.bostondynamics.com/spot-cam-ptz?cclcl=en_US. Accessed 01 06 2021.

36. Boston Dynamics. "+LIDAR." *Boston Dynamics*, 2021, <https://shop.bostondynamics.com/spot-EAP>. Accessed 01 06 2021.

37. Boston Dynamics. "+Edge CPU." *Boston Dynamics*, 2021, <https://shop.bostondynamics.com/spot-core>. Accessed 01 06 2021.

nare direttamente sul robot. Questa funzionalità garantisce una bassissima latenza. L'interfaccia viene consegnata con sistema operativo Ubuntu 18.04 e sistema Spot SDK. - \$ 3.925.

Processore AI integrato on-robot

+Edge GPU - Spot CORE AI ³⁸ aggiunge un sistema computazionale avanzato, capace di effettuare operazioni computazionali on-robot tramite un ambiente di sviluppo completo. La GPU permette di avviare complessi task computazionali di machine learning, restando aperta a perfezionamenti di programmazione e sviluppo. - \$ 24.500.

Braccio robotico manipolatore

Spot Arm ³⁹ permette di interagire con un braccio robotico dotato di 6 assi di rotazione montato direttamente sul robot agile, effettuando operazioni fisiche e manipolazioni. Il braccio robotico può operare sia tramite azioni semi-automatiche sia tramite controllo da remoto, può essere controllato via API o Spot tablet.

La peculiarità di questo strumento sta nella possibilità di toccare, sollevare, trainare e spostare oggetti, manipolare o interagire con strumenti di diverso tipo tramite movimenti liberi o semi-controllati. Sport Arm è completamente integrato col robot agile: questo significa che pesi, bilanciamenti, mobilità e range d'azione sono ottimizzati per performare al meglio.

Spot Arm può essere montato o smontato esclusivamente da Boston Dynamics. Il prezzo di mercato non è ancora pubblico.

38. Boston Dynamics. "+EDGE GPU." *Boston Dynamics*, 2021, https://shop.bostondynamics.com/Spot%20CORE%20AI?cclcl=en_US. Accessed 01 06 2021.

39. Boston Dynamics. "+ARM." *Boston Dynamics*, https://shop.bostondynamics.com/spot-arm?cclcl=en_US. Accessed 05 06 2021.



SPECIFICHE TECNICHE

Spot Explorer dimensioni

Length = 1100 mm (43.3 in)
Width = 500 mm (19.7 in)
Height (Sitting) = 191 mm (7.5 in)
Default Height (Walking) = 610 mm (24.0 in)
Max Height (Walking) = 700 mm (27.6 in)
Min Height (Walking) = 520 mm (20.5 in)
Net mass/weight = 31.7 kg (69.9 lbs)

Spot Enterprise dimensioni

Length = 1100 mm (43.3 in)
Width = 500 mm (19.7 in)
Height (Sitting) = 191 mm (7.5 in)
Default Height (Walking) = 610 mm (24.0 in)
Max Height (Walking) = 700 mm (27.6 in)
Min Height (Walking) = 520 mm (20.5 in)
Net mass/weight = 32.7 kg (72.1 lbs)

Batteria

Battery capacity = 605 Wh
Average runtime (no payload) = 90 mins
Standby time = 180 mins
Recharge time = 120 mins
Mass/Weight = 4.2 kg (9.3 lbs)

Battery+ (inclusa nel modello Enterprise)

Battery capacity = 605 Wh
Average runtime (no payload) = 90 mins
Standby time = 180 mins
Recharge time = 120 mins
Mass/Weight = 5.2 kg (11.5 lbs)

Spot Dock (incluso nel modello Enterprise)

Length = 1140 mm (44.9 in)
Width = 414 mm (16.3 in)
Height = 403 mm (15.9 in)
Mass/Weight = 22 kg (50 lbs)
Input = 100-240 VAC 50/60 Hz 8A
Output = 58V at 12A
Time to 80% charge = 50 mins (@ 25C)/2.5 hours (@ 35C)
Time to 100% charge = 2 hours (@25C)/ 3.5 hours (@35C)
Operating Temp = 0C to 35C
Lighting = Ambient light required
Mounting = Bolt/tie down locations provided
Gigabit Ethernet passthrough to robot
cTUVus Certified to UL 1564 and CSA C22.2 No. 107.2

Caricabatterie

Input voltage = 100-240VAC 50/60Hz 5.5A Max
Output = 35-58.6 VDC 7.2A Max

Operating temperature = 0 to 40°C

Connettività

WiFi 2.4Ghz b/g/n
WiFi Dual band 802.11ac support (Enterprise only, availability dependent on region)
Gigabit Ethernet

Ambiente

Ingress protection = IP54
Operating temperature = -20 to 45°C

Rilievo del terreno

Horizontal field of view = 360°
Range = 4 m (13 ft)
Lighting = > 2 Lux
Collision avoidance = maintains set distance from stationary obstacles

Locomozione

Max speed = 1.6 m/s
Max slope = ±30°
Max step height = 300 mm (11.8 in)

Payloads

Max weight = 14 kg total (30.9 lbs)
Mounting area = 850 mm (L) x 240 mm (W) x 270 mm (H)
Mounting interface = M5 T-slot rails
Connector = DB25 (2 ports)
Power supply = Unregulated DC 35-58.8V, 150W per port
Integration = Available software API and hardware interface control documentation

Robot Case Specifications

Length = 927 mm (36.5 in)
Width = 546 mm (21.5 in)
Height = 464 mm (18.25 in)
Net weight = 47.6 kg (105 lbs)

Power Case Specifications

Length = 559 mm (22 in)
Width = 432 mm (17 in)
Height = 267 mm (10.5 in)
Mass/Weight (without batteries) = 9.7 kg (21.4 lbs)

Controller specifications

Height = 143.6 mm (5.7 in)
Width = 274 mm (10.8 in)
Depth = 53 mm (2.1 in)
Weight = 580 g (1.3 lbs)
Touch Screen Size = 7" diagonal
Resolution = 1920x1200

ADD-ONS

Spot CAM

Specifiche tecniche

Length = 334 mm (13.1 in)

Width = 203 mm (8.0 in)

Height = 130 mm (5.1 in)

Weight = 3.1 kg (6.7 lbs)

Panoramic field of view = 360 x 170°

Panoramic camera resolution = 10MP

Panoramic image size = 9600x4800

Panoramic camera sensor = 5x Sony IMX290

Panoramic lens focal length = 2.16 mm

Panoramic lens aperture = F2.0

Ingress protection = IP65

Operating temperature = -20 to 45°C

Spot CAM+

Specifiche tecniche

Length = 334 mm (13.1 in)

Width = 203 mm (8.0 in)

Height = 330 mm (13.0 in)

Weight = 6.5 kg (14.3 lbs)

Panoramic field of view = 360 x 170°

Panoramic camera resolution = 10MP

Panoramic image size = 9600x4800

Panoramic camera sensor = 5x Sony IMX290

Panoramic lens focal length = 2.16 mm

Panoramic lens aperture = F2.0

PTZ range of motion = 170°/sec

PTZ tilt range = -30 to 270°

PTZ resolution = 2MP, 1080p resolution video, 30x zoom

Ingress protection = IP65

Operating temperature = -20 to 45°C

Spot EAP

Specifiche tecniche

Length = 300 mm (11.8 in)

Width = 190 mm (7.5 in)

Height = 162 mm (6.4 in)

Weight = 3.6 kg (8.0 lbs)

Model = Velodyne VLP-16

Sensor = 16 Channels

Measurement range = 100 m

Range accuracy = Up to ±3 cm

Field of view (vertical) = +15.0° to -15.0° (30°)

Angular resolution (vertical) = 2.0°

Field of view (horizontal) = 360°

Angular resolution (horizontal/azimuth) = 0.1° – 0.4°

Rotation rate = 5 Hz – 20 Hz

Includes integrated web server for monitoring and configuration

Laser product = Class 1 eye-safe per IEC 60825-1:2007 & 2014

Laser wavelength = 903 nm

Power = 8 W

Voltage = 9-18 V

Ingress protection = IP67

Operating temperature = -10 to 60°C

Storage temperature = -40 to 105°C

+Edge CPU - Spot CORE

Specifiche tecniche

Length = 250 mm (9.8 in)

Width = 190 mm (7.5 in)

Height = 84 mm (3.3 in)

Weight = 2000 g (4.4 lbs)

Motherboard = i5 Intel® 8th Gen (Whiskey lake-U) Core™ CCG Lifecycle

Memory (RAM) = 16 GB DDR4 2666 MHz

Primary storage = 512 GB SSD

Operating system = Ubuntu Desktop 18.04 LTS 64-bit

Operating temperature = 0 to 50°C

+Edge GPU - Spot CORE AI

Specifiche tecniche

Length = 240 mm (9.4 in)

Width = 185 mm (7.3 in)

Height = 74 mm (2.9 in)

Weight = 3.45 kg (7.6 lbs)

CPU = Intel Xeon E3-1515M V5

CPU RAM = 32 GB

SSD = 480GB mSATA SSD

GPU = NVIDIA P5000

Ingress protection = IP67

Operating temperature = -20 to 45°C

Peak power draw = 210W

Spot Arm

Degrees of Freedom = 6 + gripper

Length (at full extension) = 984 mm (38.7 in)

Mass/Weight (including gripper) = 8 kg (17.6 lbs)

Max. Endpoint Speed = 10 m/s

Max. Lift Capacity* = Up to 11 kg (24.3 lbs)

Continuous Lift Capacity* (at 0.5 m extension) = 5 kg (11 lbs)

Max. Drag Capacity* (on carpet) = Up to 25 kg (55.1 lbs)

- *On robot*
Total Mass/Weight = 39.7 kg (87.5 lbs)
Max. Reach Height = 1800 mm (70.9 in)
- *Gripper*
Depth = 90 mm (3.5 in)
Max Aperture = 175 mm (6.9 in)
Peak Clamp Force (at tip of opening) = 130 N
Integrated Sensors = ToF, IMU, 4K RGB
Accessory Port = Gigabit Ethernet, 50W power, camera sync (PPS)
- *Ambiente*
Operating Temperature = -20°C to 45°C
Ingress Protection = Water and dust resistant



a sinistra

Gabbiano (Comune di Pieve
Torino, Macerata)
© ArchLiving

PARTE 3 — AUTOMATIZZARE L'ISPEZIONE E IL MONITORAGGIO DI EDIFICI E STRUTTURE SU LARGA SCALA

Come illustrato nel paragrafo precedente, il robot agile Spot funziona a tutti gli effetti come una piattaforma tecnologica implementabile, sulla quale è possibile innestare strumenti e funzioni in base alle diverse necessità applicative. Sebbene queste estensioni siano limitate da alcune caratteristiche fisiche e strumentali –come ad esempio il peso massimo trasportabile dal robot, alcune interfacce, lo spazio fisicamente disponibile, le capacità computazionali– il sistema ‘robot+strumenti’ consente comunque di coniugare portabilità, mobilità e utilizzo in una vasta gamma di condizioni e situazioni.

Come riportare questo ampio spettro di accessori e utilizzi potenziali all'interno di un quadro applicativo preciso? Se guardiamo all'attività di ispezione e monitoraggio di edifici, strutture e infrastrutture, molti degli accessori messi a disposizione possono essere utilizzati per migliorare il grado di efficienza del rapporto tra progetto/esecuzione/gestione, e allo stesso tempo ridurre i fattori di rischio ad essi collegati.

Questo documento mette alla prova l'applicazione di una parte della strumentazione nel framework di due casi studio, attraverso da una parte l'utilizzo di alcuni degli elementi disponibili tramite Boston Dynamics, dall'altra parte l'implementazione di strumenti ad hoc per specifiche condizioni contingenti (scala, matericità, geologia). Per questo è utile identificare gli strumenti add-on in tre differenti categorie: dotazione di base, dotazione avanzata, dotazione aggiuntiva.

La dotazione di base è da intendersi come il minimo indispensabile per effettuare operazioni di raccolta dati insieme al robot agile, e si compone di: Spot robot; Tablet di controllo; Sistema Spot CAM. Con questa dotazione, l'operatore può comandare il robot in loco o da remoto, effettuando ispezioni e controlli in ambienti di dimensione medio-piccola (superfici rilevabili a 4 m dal robot). Questo tipo di dotazione risulterebbe idonea nei casi di ispezione, raccolta dati, rilievo fotografico di ambienti chiusi come abitazioni, uffici, negozi, dove le superfici non distano più di 4m dal robot agile; prima ispezione e rilievo fotografico di aree pericolose, ad esempio quelle post-sisma.

Una dotazione avanzata permetterebbe poi di effettuare operazioni su larga scala, in ambienti di grandi dimensioni e all'aperto, attraverso l'utilizzo di Spot robot, Tablet di controllo, Sistema Spot CAM+ Sistema Spot EAP. Con questa dotazione, il robot agile può raccogliere dati con maggiore accuratezza anche in spazi ampi, raccogliendo informazioni utili all'elaborazione dei dati raccolti. Questo setup potrebbe essere usato in caso di ispezione,

rilievo di spazi ampi sia al chiuso che all'aperto, fino a un massimo di 100 m dal robot, scansione e rilievo periodico di ambienti; elaborazione di modelli digitali 3D navigabili, digital twin, comparazione tra modello 3D e situazione reale; controllo delle operazioni svolte in cantiere, monitoraggio degli avanzamenti di cantiere.

La dotazione aggiuntiva prevederebbe l'integrazione di elementi non direttamente forniti da Boston Dynamics, e utili ad esempio per migliorare la raccolta dati, ampliare le opportunità di movimento o garantire maggiore affidabilità. Tra queste componenti troviamo: Spot dock; Sensori RFID; Infrastruttura rete internet distribuita; Cloud computing. Questo tipo di dotazione è pensato per rendere più autonomo il robot, dando la possibilità di effettuare ricariche in autonomia, di favorire lo scambio di dati *real time* attraverso sensoristica e l'infrastruttura internet, mentre il *cloud computing* velocizzerebbe le operazioni di elaborazione dei dati raccolti.

A queste dotazioni hardware, certamente fondamentali, va comunque affiancata una infrastruttura software sviluppata da Boston Dynamics, che consente l'utilizzo degli strumenti *add-on* prodotti dalla casa madre in modalità *plug&play*. Tutti gli *add-on* presentano infrastrutture software aperte ad altre configurazioni, in modo tale che i programmatori possano accedere alle funzionalità dello strumento e programmarle a proprio piacimento. Questa apertura a sviluppi esterni garantisce un alto grado di versatilità e personalizzazione ⁴⁰.

Aggiungere valore di mercato

I robot agili stanno cambiando il modo in cui le organizzazioni pianificano le proprie operazioni *on-site*: la velocità di svolgimento delle operazioni o la possibilità di manipolare dati in modo efficiente sono solo alcuni degli elementi capaci di aumentare il valore di mercato delle operazioni nelle quali sono coinvolti. Non solo per la qualità intrinseca che potenzialmente è possibile attribuire, ma anche per l'acquisizione di nuove competenze e *know-how* specifico.

Immaginiamo di poter utilizzare i robot per raccogliere informazioni da scansione e rilievo 3D, dati termici, individuazione di perdite, individuazione di anomalie acustiche, individuazione di radiazioni, individuazione di lesioni, individuazione di gas, individuazione di instabilità strutturali. A fronte dei dati raccolti attraverso dispositivi automatici e digitali, la raccolta "manuale" di dati esibisce tutti i propri limiti, tanto nella precisione con cui sono restituiti quanto nel *workflow* in cui si inseriscono. Se la raccolta

40. Boston Dynamics. "Spot SDK." *dev.bostondynamics.com*, 2021, <https://dev.bostondynamics.com/>. Accessed 02 06 2021.

di dati avviene da parte degli essere umani, questa sarà soggetta a errori, a valutazioni soggettive, dispendiosa e lenta: il valore dell'automazione sta infatti proprio nel rendere efficienti processi operativi che, in alternativa, darebbero risultati limitati, liberando l'essere umano da compiti onerosi e rischiosi e offrendogli l'opportunità di ottimizzare la gestione del proprio lavoro.

È consigliato osservare alcune indicazioni di base che possono facilitare l'impostazione del lavoro con l'utilizzo di robot e avere un riscontro quanto più rispondente alle necessità del tecnico⁴¹:

1. Ipotizzare un utilizzo che possa fornire riscontri immediati
L'accesso alla tecnologia e agli ambienti di utilizzo è cruciale: per questo è consigliato innanzitutto fare una simulazione in uno spazio fisico dove ricostruire le condizioni realistiche del sito di intervento;
2. Effettuare test di validazione
Testare lo strumento *on-site* è solitamente un valido metodo di studio e di interazione tra macchina e team di progetto;
3. Focalizzarsi su casi d'uso
La validazione di diverse *proof of concept* è un'attività chiave per individuare ulteriori possibili applicazioni dello strumento tecnologico.;
4. Verificare il funzionamento *on-site*
Se la macchina è in grado di raccogliere i dati che ci si aspettava, e di effettuare tutte le operazioni come pianificato, l'utilizzo programmato può essere replicato e ottimizzato;
5. Automatizzare e avviare il processo
In questa fase vengono realizzate e ultimate le applicazioni reali nell'area destinata a ospitare il robot. La programmazione e la memorizzazione delle operazioni può avvenire *on-site* o da remoto, considerando anche uno o più momenti di verifica e ulteriore ottimizzazione. Ogni miglioramento ha l'obiettivo di ottenere risultati migliori nell'utilizzo successivo.

41. Boston Dynamics. *Game Changing Automation, Six Steps for Implementing Agile Mobile Robots*. 2021.

Casi studio

Il campo esplorativo di questo progetto è vastissimo e, certo, ogni sito/cantiere/edificio presenta variabili differenti. Questo scritto si muove sul filo di un tentativo: individuare alcuni metodi di applicazione della robotizzazione nell'ambito delle operazioni di progettazione e di monitoraggio e direzione lavori, a partire da due casi studio –attualmente in corso di lavorazione all'interno di ArchLiving– con l'obiettivo generale di ottimizzare i processi *on-site* automatizzando alcune attività; ridurre i rischi e aumentare la sicurezza delle attività *on-site*; tracciare in modo più efficace costi del lavoro, dei materiali, delle strumentazioni; ottimizzare le tempistiche in relazione al budget; strutturare modelli previsionali più precisi e con informazioni più accurate e immediate. Il confronto con i casi studio è qui costruito, da una parte, delineando i caratteri di criticità che possono essere automatizzati o gestiti attraverso l'utilizzo del robot agile, dall'altra parte è valutato in modo parametrico assumendo precisi criteri di valutazione dell'impatto della robotizzazione sui compiti individuati nei progetti:

- Sicurezza
Sollevare gli operatori dalle operazioni potenzialmente rischiose, prevenire infortuni e ridurre le segnalazioni di pericolo.
- Affidabilità
I risultati ottenuti dalle attività di rilievo, controllo e monitoraggio devono essere attendibili e dettagliate a sufficienza per agevolare il processo decisionale dei professionisti coinvolti, favorendo la pianificazione delle operazioni.
- Efficienza
Ottimizzazione dei costi del lavoro, coinvolgimento dei lavoratori su incarichi di maggiore rilievo, migliore pianificazione delle attività.
- Performance
Velocizzare i processi di raccolta ed elaborazione dati, minimizzare i tempi di inattività pianificati o non pianificati
- Automazione
Automazione delle attività ripetitive, ripetibilità delle operazioni, efficacia e qualità delle operazioni svolte, riduzione dell'errore umano e dei tempi di elaborazione.



Gabbiano (Comune di Pieve Torino, Macerata) © ArchLiving

CASO STUDIO 1: GABBIANO (COMUNE DI PIEVE TORINA, MACERATA) Uso del robot in aree colpite dal sisma, strutture pericolanti, ispezione e rilievo

Nonostante esista una ricca documentazione storica relativa al territorio di Pieve Torina e alle sue emergenze monumentali, la località Gabbiano consiste in un piccolo insediamento, storicamente un satellite di maggiori poli territoriali, in una condizione documentaria marginale, nella quale però occorre in aiuto il dato materiale della tradizione costruttiva. Con particolare riferimento alla radice medievale dell'insediamento, è la consistenza stessa dei luoghi oggi in qualche modo "messa a nudo" dai traumi e dalle ferite del sisma del 2016, che permette all'osservazione di cogliere le emergenze culturali come dati degni di conservazione, almeno nelle tracce. Il valore documentale dei caratteri ornamentali di alcuni dettagli murari, delle cornici, delle aperture e di tutti gli elementi che contraddistinguono l'architettura del luogo – a partire dall'impianto spiccatamente aggregato in grado di assecondare la topografia – è principalmente da ricercare nella manodopera locale, intesa come "presenza di gruppi di muratori locali operanti ognuno nella propria comunità, che applicano dei modelli generali trasmessi probabilmente da un maestro specializzato itinerante e li rielaborano adattandoli al caso particolare". Questo dato, che chiama in

causa l'esperienza e la tecnica come aspetti culturalmente trasmessi, è nel caso di Gabbiano forse ancora più ibrido, perché frutto di un passaggio di conoscenze probabilmente più indiretto (data la posizione geografica e la marginalità del piccolo insediamento) e quindi capace di produrre un patrimonio costruito tanto minore quanto inaspettato.

Ciò che rende l'osservazione dei manufatti in questione ancora più singolare è l'assunzione dell'alto livello di manipolazione che questi hanno subito. Infatti, le opere di ristrutturazione dei fabbricati intorno al 1997, a seguito delle scosse dello stesso anno, hanno determinato trasformazioni tanto all'apparato decorativo quanto a quello strutturale dei fabbricati, con l'impiego di soluzioni che oggi, a distanza di più di 20 anni, necessitano una revisione in relazione alle caratteristiche costruttive dei luoghi. In particolare, l'uso estensivo di elementi in malte cementizie e calcestruzzo armato a vista hanno modificato determinati dettagli architettonici, operando anche sugli aspetti chimico-fisici dei materiali tradizionali come la naturale deperibilità e la traspirabilità

Lo stato di fatto della località Gabbiano è dunque un quadro complesso, la cui indagine richiede una campagna continuativa di sopralluoghi per delineare con la minor approssimazione possibile le caratteristiche del costruito e selezionarne gli aspetti maggiormente significativi.

Caratteristiche e modalità operative

Per ciascun fabbricato oggetto di intervento si è proceduto con una osservazione preliminare dei principali elementi caratterizzanti. Le aree e gli edifici interessati presentano importanti danni strutturali che possono mettere a rischio di infortunio gli operatori incaricati di effettuare i primi sopralluoghi, fondamentali per definire le modalità di intervento e di messa in sicurezza delle strutture interessate.

In un contesto di emergenza, le attività pianificate secondo modalità tradizionali prevedono due fasi:

1. Rilievo fotografico di contesto: in questa fase viene fatta una raccolta di materiale fotografico e video, utile alla pianificazione delle attività di ispezione fisica e di avvio della progettazione di massima di recupero/consolidamento strutturale;
2. Ispezione delle strutture e rilievo di dettaglio: per la valutazione dello stato di fatto dei singoli edifici e la pianificazione dei singoli interventi. In questa fase è prevista la raccolta di materiale fotografico e/o video di dettaglio.

Rilievo fotografico di contesto

In un caso dove l'area di progetto non è il singolo edificio ma un'intera frazione geografica, le attività di rilievo devono necessariamente coprire tutta l'area interessata. Solitamente, una squadra di operatori si attiva spostandosi *on site* effettuando rilievi fotografici e facendo una perlustrazione di massima, utile a definire le modalità con cui muoversi nelle successive attività di ispezione dei singoli edifici.

Operazioni di rilievo eseguite da un team di operatori

Nel caso il rilievo fotografico fosse eseguito dall'uomo, si avrebbero le seguenti caratteristiche:

1. L'attività sarebbe svolta da un gruppo di operatori abilitati e opportunamente accompagnati da personale avente funzione di assicurare la sicurezza delle operazioni;
2. I professionisti incaricati di eseguire il rilievo devono raggiungere il luogo d'intervento, insieme a tutto il materiale necessario per eseguirlo;
3. Trattandosi di un primo approccio all'area di intervento, il rilievo sarebbe svolto col fine di raccogliere materiale di entità generica. Ogni immagine raccolta deve essere identificata. Inoltre, dovrebbero esserne definiti la posizione e la direzione di scatto, riportando ulteriori eventuali note. Le operazioni dovrebbero essere eseguite il più velocemente possibile, in quanto materiale restituito ha valore per le pianificazioni seguenti;
4. La fase di restituzione del materiale richiede tempo e, spesso, una seconda fase di approfondimento o completamento delle informazioni riportate.

Operazioni di rilievo svolte con l'ausilio di un robot agile

L'uso del robot agile in questa fase di rilievo, soprattutto dovendo coprire aree di ampia scala, risulta efficiente in termini di tempo e restituzione.

La dotazione da considerarsi in questa applicazione prevede:

- Spot robot - \$ 74.500;
- Tablet di controllo - \$ 0;
- Sistema Spot CAM+ - \$ 29.750;
- Opzionale - Sistema Spot EAP - \$ 18.450.

Col supporto di un robot agile, la fase di rilievo seguirebbe procedure diverse:

1. L'attività potrebbe essere svolta da un singolo operatore il quale si reca in situ insieme al robot e alla relativa strumentazione di rilievo fotografico;



a sinistra

Gabbiano (Comune di Pieve
Torino, Macerata)
© ArchLiving

2. L'operatore ha il compito di navigare il robot nelle aree da rilevare, assicurandosi che la qualità delle immagini raccolte sia di buona qualità. Tale operazione avviene tramite i comandi a distanza, garantendo maggiore sicurezza all'operatore umano;
3. Durante questa fase di raccolta, il robot invia il materiale a un sistema di elaborazione cloud che, in tempo reale, ricostruisce un modello tridimensionale fotografico dello stato di fatto. Ogni immagine è quindi localizzata tramite specifiche coordinate GPS e fusa con le immagini limitrofe. Contemporaneamente, l'operatore umano può abbinare note testuali legate alla posizione geografica di rilievo;
4. La restituzione della campagna di rilievo consiste in:
 - una collezione di immagini "aumentate", che contengono al loro interno una serie di informazioni rilevanti come il luogo di scatto e le coordinate geografiche di riferimento;
 - un modello tridimensionale digitale navigabile a schermo, in realtà virtuale o realtà aumentata, che permette di ripercorrere virtualmente la campagna di rilievo e di leggere le note lasciate dall'operatore in specifici punti nello spazio.

a destra

Comparazione tempi di rilievo
fotografico uomo/macchina

	Rilievo svolto in maniera tradizionale dall'uomo	Rilievo svolto con l'ausilio del robot agile
N. personale coinvolto	Minimo 3 persone	1 operatore + 1 robot
Durata del rilievo	8 ore	6 ore
Tempo necessario alla rielaborazione del materiale	16 ore	4 ore
N. di rilievi aggiuntivi a integrazione	2-3	1, con possibilità di automatizzare il processo

Ispezione puntuale

L'ispezione di uno specifico edificio può essere considerata un'operazione singola completamente scollegata dal suo contesto (il caso di un singolo edificio pericolante), oppure può essere parte di una pianificazione allargata, dalla quale si parte per poi entrare nel dettaglio (il caso di un gruppo di edifici colpiti da sisma). Il caso studio in oggetto ricade senza dubbio in questa seconda casistica la quale, necessariamente, presenta numerose complessità dovute alla vicinanza tra gli edifici e alla conformazione del terreno. In ogni caso, l'ispezione del singolo edificio deve essere pianificata e, a livello operativo, essere effettuata a distanza di sicurezza dalle strutture e che può essere svolta utilizzando i sistemi robotici.

Ispezione e rilievo svolto dall'uomo

Questa attività presuppone la costituzione di un team operativo incaricato di entrare nell'edificio interessato e di raccogliere informazioni sullo stato

della struttura. La prima fase di ispezione presenta necessariamente numerose criticità e pericoli, che possono portare a infortuni per gli operatori. Doverose precauzioni a favore di sicurezza sono sempre adottate in forma standard, assicurando protezione in caso di piccoli inconvenienti. In diversi casi però, tali metodi di protezione non sono sufficienti ad assicurare la protezione degli operatori in caso di crollo o altri eventi di maggiore entità.

Dato l'alto indice di rischio che presuppone la prima ispezione di un edificio colpito da sisma, le operazioni svolte seguono una precisa sequenza:

1. Gli operatori, solitamente almeno 3, vengono dotati di tutti i dispositivi di protezione personale e istruiti sullo stato di fatto della struttura tramite l'ausilio di materiale fotografico. L'uso di disegni tecnici come piante, sezioni o rappresentazioni di altro tipo risulta di grande utilità per acquisire informazioni sulle caratteristiche della struttura e riguardo la disposizione interna degli spazi;
2. La squadra entra nell'edificio restando a distanza dagli elementi identificati come pericolosi o danneggiati, cercando di raccogliere materiale fotografico o video. In questa fase la documentazione delle entità danneggiate è di fondamentale importanza. Le operazioni e gli spostamenti sono dettati dalle difficoltà operative e dal rischio che queste possono comportare;
3. Finita l'ispezione, il materiale raccolto deve essere rielaborato e affiancato da un rapporto di ispezione;
4. Vengono fatte le scelte operative di consolidamento e il relativo progetto d'intervento. Solitamente viene data massima priorità a effettuare operazioni che vadano a sostenere le strutture, evitando ulteriori crolli o deterioramenti;
5. Alla fase di consolidamento possono seguire diversi rilievi di integrazione e approfondimento sullo stato della struttura, che agevoleranno ulteriormente la scelta degli interventi definitivi.

Ispezione e rilievo svolti con l'ausilio del robot agile

Si tratta di una attività non automatizzata, resa possibile dal sistema di controllo da remoto del robot agile. Le attività non ripetitive da svolgere in questo caso di studio richiedono quindi la presenza di almeno un operatore in loco e di una squadra di pianificazione in loco o a distanza.

La dotazione da considerarsi in questa applicazione prevede:

- Spot robot - \$ 74.500;
- Tablet di controllo - \$ 0;
- Sistema Spot CAM+ - \$ 29.750;
- Opzionale - Sistema Spot Core - \$ 3.925.

I ruoli possono essere così identificati:

- Operatore in loco - soggetto abilitato e incaricato al controllo da remoto del robot.
- Squadra di pianificazione campagna - composta da due o più soggetti, è il gruppo di lavoro che pianifica la campagna di ispezione e di rilievo.

Step 1 - Pianificare l'attività di perlustrazione

Agli operatori è richiesto di fare una valutazione delle attività di perlustrazione da svolgere, preparando un piano d'azione il più possibile veloce ed efficace. In questa fase vengono fatte valutazioni secondo le entità di danno visibili da postazioni sicure, utilizzando al meglio supporti GPS e piante, utili alla pianificazione della campagna di ispezione.

Il grado di dettaglio con cui viene pianificata la campagna di ispezione assume molta importanza. Per agevolare la definizione di rischio nelle operazioni può essere utile dare una "valutazione di rischio" a ogni edificio da ispezionare, aggiungendo note descrittive in relazione a specifici danni strutturali visibili o che ci si aspetta possano essere presenti.



Step 2 - Ispezione

La fase di ispezione prevede l'uso del robot tramite un sistema di controllo da remoto, tramite il quale l'operatore è in grado di vedere gli spostamenti del robot in tempo reale e di inquadrare specifici dettagli. Il robot è infatti dotato di una serie di telecamere nella parte frontale, che trovano utilità nelle attività di ispezione per la movimentazione del robot nello spazio. Il robot quindi verrà portato all'interno delle strutture da ispezionare e, in questa attività, avrà funzione di:

- Raccogliere materiale fotografico e video;
- Identificazione dello stato generale della struttura;
- Identificazione di particolari cedimenti o di aree ad alto rischio.

La raccolta di queste informazioni ha lo scopo di abilitare gli operatori a pianificare le attività di intervento per la messa in sicurezza delle strutture e, soltanto in secondo luogo, ha funzione di collezionare informazioni dettagliate sullo stato di fatto delle strutture.

Anche in questa fase, la disponibilità di disegni tecnici e di informazioni dettagliate sugli edifici da ispezionare può essere fondamentale. Entrare in edifici senza conoscerne la disposizione degli interni o le caratteristiche strutturali presenta notevoli rischi di danneggiare la strumentazione portata all'interno. Una corretta pianificazione delle operazioni da svolgere deve sempre precedere l'operatività di ispezione e rilievo, in ottica di:

- Effettuare operazioni più consapevoli;
- Effettuare campagne di ispezione più efficaci;
- Prevenire danni al robot e alla strumentazione portata all'interno delle strutture;
- Evitare di arrecare ulteriori danni alle strutture, che potrebbero non sopportare il peso del robot.

Step 3 - Pianificazione del secondo sopralluogo e degli interventi di messa in sicurezza

Grazie al materiale raccolto tramite la fase precedente, il team di lavoro è in grado di stabilire l'entità di danno subita dalle strutture. In base alle evidenze riscontrate, viene quindi pianificata un secondo sopralluogo, questa volta svolto direttamente dagli operatori, i quali avranno il compito di verificare le informazioni raccolte nell'ispezione svolta dal robot, fornendo ulteriori dettagli di tipo tecnico-progettuale.

Obiettivo di questa modalità di pianificazione è quella di ridurre il più possibile l'esposizione al rischio degli operatori umani coinvolti nel sopralluogo.

Step 4 - Avvio lavori e monitoraggio delle strutture

A seguito delle ispezioni, si procede quindi con i lavori di messa in sicurez-

za. Sia durante che in seguito a queste operazioni, una attività di controllo e monitoraggio automatizzata può essere aiuto nel prevenire ulteriori problematiche.

In questa fase il robot può essere navigato all'interno delle strutture interessate, segnalando punti specifici d'interesse su cui effettuare specifici controlli o rilievi. Questi possono essere di raccolta dati provenienti da sensori, fotografici, di posizione o di temperatura. Questa funzione ha lo scopo di rilevare eventuali degeneri strutturali o impiantistici, attivando operazioni preventive a ulteriori possibili danni.

a destra

Comparazione tempi di ispezione uomo/macchina

	Prima ispezione svolta dall'uomo	Prima ispezione svolta con l'ausilio del robot
Grado di rischio	Grado di rischio elevato per la squadra di ispezione	Rischio nullo per gli operatori umani, rischio elevato per la macchina coinvolta
Numero di operatori coinvolti	Almeno 3	1 operatore umano + 1 robot
Tempo impiegato nelle attività di ispezione e primo rilievo	2 ore	2 ore
Successivi controlli e raccolta dati	Svolti da operatori on site	Svolti dal robot e automatizzati

Una volta programmata la routine, il robot sarà quindi autonomo nello svolgimento delle sue attività. Questo sarà in grado di attivarsi secondo tempi prestabiliti, spostandosi all'interno della struttura e effettuando la raccolta dati del caso. Il team di lavoro potrà fare valutazioni da remoto, in totale sicurezza e in modo più efficiente.

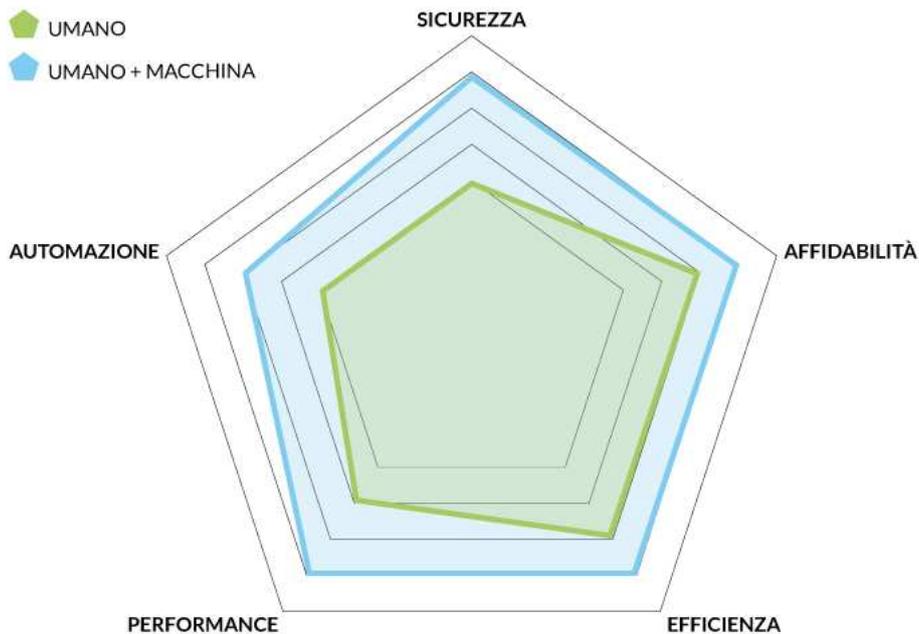
Conclusioni

Seppure le attività descritte siano ormai da anni svolte da operatori dedicati e opportunamente istruiti, l'elevato grado di rischio racchiuso in questo Caso Studio ci permette di mettere in risalto alcuni aspetti che riguardano l'affiancamento del robot agile all'essere umano:

- per gli operatori vi è una riduzione del rischio di sottoporsi a infortuni, in quanto è il robot a essere utilizzato nelle aree più critiche;
- Il team operativo può essere ridotto a una singola unità o quantomeno essere ridotto in termini di operatori necessari in situ. Un team di supporto progettuale può essere istituito ma non necessariamente deve presentarsi on site;
- In momenti di emergenza il lavoro può procedere per step operativi condividendo il materiale raccolto tramite sistemi cloud. Anche se il team non è interamente on site, le operazioni possono procedere, migliorando l'efficacia dell'intero processo progettuale;

- Generalmente, i tempi necessari allo svolgimento delle attività di rilievo vengono ridotti grazie alla capacità del robot di raccogliere più informazioni e, in contemporanea, di inviarle a sistemi computerizzati in grado di rielaborare. In questo modo, tempo prezioso viene recuperato anche nella fase di elaborazione del rilievo;
- Grazie a questi processi di condivisione in rete, le attività di progettazione e pianificazione possono essere agevolmente supportate da team di lavoro da remoto.

Nell'adozione di questa modalità operativa risulta comunque necessario avere a disposizione almeno 1 operatore che sia in grado di gestire il robot e di renderne efficace l'utilizzo. È altresì necessaria una certa dimestichezza nell'uso dei sistemi informatici sopra citati, così da rendere efficace l'utilizzo. Inoltre, in caso il supporto robotico subisca dei danni deve essere previsto un piano operativo di ripiego che garantisca il continuo delle attività in fase di svolgimento e limiti la perdita di informazioni già raccolte.





Tratto ferroviario Novellara-San Giacomo a Guastalla © ArchLiving

CASO STUDIO 2 - LINEA FERROVIARIA REGGIO EMILIA - GUASTALLA, TRATTO NOVELLARA - SAN GIACOMO

Uso del robot per la raccolta di informazioni su infrastrutture a larga scala

Questo caso studio fa riferimento alle caratteristiche riportate dalla ferrovia Reggio Emilia Guastalla a seguito degli eventi sismici di maggio 2012, soffermandosi sugli interventi che sono stati fatti sul tratto ferroviario Novellara - San Giacomo.

A seguito del sisma, i sopralluoghi svolti hanno riportato dimostranze di diverse tipologie di danno:

- Cedimenti dell'infrastruttura ferroviaria: i binari, composti dalla massicciata, dalle traverse e dalle rotaie, presentano spostamenti sia in verticale che in orizzontale rispetto alla direzione di marcia, dovuti sia all'allontanamento del pietrisco in seguito allo scuotimento sismico che al cedimento post-sismico delle argille torbose su cui è impostata la fondazione dei binari; i cedimenti riscontrati sono sia di tipo trasversale al binario che nel senso longitudinale, risultando ampiamente al di fuori dei range previsti dalle normative di settore (prescrizioni RFI);
- Disassamenti della singola rotaia: in molti punti della linea si sono

verificati dei disallineamenti della rotaia (riconducibili ad un vero e proprio “serpeggio” della linea ferroviaria) che potrebbero causare il deragliamento dei treni, compromettendo la sicurezza dei viaggiatori oltre che degli operatori FER; i valori di spostamento della rotaia erano ampiamente visibili anche ad occhio nudo e sono intorno all’ordine di grandezza dei 4-5 cm.

Dal punto di vista tecnico, l’assenza di una fondazione rigida per la massicciata ferroviaria che potesse essere in grado di limitare i cedimenti differenziali delle traversine, ha favorito il manifestarsi di deformazioni permanenti delle rotaie, in particolare effetti di disallineamento, di perdita di livello longitudinale e di aumento dello sghembo preesistenti, che risultano incompatibili con le tolleranze imposte dalla normativa tecnica di settore

Data la natura argillosa dei terreni, è stata esclusa, in seguito al calcolo analitico del probabile rischio, la possibilità del manifestarsi dei fenomeni di liquefazione; pertanto, si è approfondito il tema dei cedimenti di ri-consolidazione a seguito di eventi sismici che possano indurre sovrappressioni interstiziali all’interno di banchi di argille estesi, che rappresentano le caratteristiche salienti dei terreni di fondazione dell’infrastruttura in oggetto.

In base all’analisi dei sondaggi e dei rilievi eseguiti per la determinazione della stratigrafia delle massicciate ferroviarie allo stato di fatto, è emerso che queste risultano così organizzate:

- Binari impostati su traversine isolate (bi-blocco) poggianti su ballast con interposta argilla limosa;
- Argille con lenti di materia organica oppure argille limose presenti al di sotto del ballast ferroviario, con limitate e sporadiche stratificazioni di sabbie limose.

Al fine del rilascio del “certificato di agibilità sismico definitivo” che consente di raggiungere il 60% della capacità richiesta da Legge, la linea ferroviaria è stata assoggettata ad una serie di interventi che ripristinano i danni ed, eliminando le vulnerabilità esistenti, consentano di migliorarne la risposta sotto sisma, evitando la comparsa di cedimenti (orizzontali e/o verticali) che possano compromettere l’esercizio della linea stessa in condizioni ordinarie previste dal Fascicolo di Linea.

Allo stato di progetto si prevede la realizzazione di una fondazione rigida che scongiuri la comparsa di cedimenti del binario mediante un pacchetto stratigrafico comprensivo di strati di terreno ricompattato in loco e di strati stabilizzati a calce, intervallati da geotessuti drenanti rinforzati.

Le fasi realizzative degli interventi previsti sono le seguenti:

- spostamento della attuale linea, dei binari (traverse e ballast);
- scavo della sezione ferroviaria fino alla quota di imposta della fondazione;
- posa in opera di terreno ricompattato in loco;
- strato di sottofondo sabbioso impermeabilizzato con tessuto non tessuto;
- spessore di terreno trattato a calce impermeabilizzato con tessuto non tessuto;
- massiccata (ballast) formato da pietrisco per uno spessore compatibile con gli spostamenti dei binari registrati a causa del sisma;
- ripristino dei binari ferroviari e risoluzione delle interferenze (attraversamenti con tombini, ponti, passaggi a livello, ecc.).

Caratteristiche del caso studio

La pianificazione lavori sulle grandi infrastrutture presenta sempre numerose difficoltà nell'organizzare le attività dislocate su grandi superfici, soprattutto quando queste sono di raccolta dati e controllo delle operazioni. I principali limiti che si riscontrano riguardano i tempi necessari per gli



spostamenti e i relativi costi, in quanto solitamente gli operatori sono coinvolti in team e necessitano di intere giornate di lavoro per lunghi periodi di tempo per il completo svolgimento delle attività.

In questo caso studio, il focus viene posto su due attività chiave:

1. Quelle di ispezione e rilievo - dove solitamente i tecnici sono chiamati a svolgere sopralluoghi raccogliere materiale fotografico e effettuare operazioni di rilievo con strumentazione di diverso tipo;
2. Quelle di controllo - dove i tecnici incaricati devono verificare il corretto svolgimento dei lavori.

Ottimizzazione delle attività di rilievo e ispezione periodica

Sulle grandi infrastrutture come quella in oggetto, le attività ripetitive e di ordinaria ispezione sono quelle che richiedono più tempo e che risultano essere maggiormente costose. Gli operatori sono chiamati a perlustrare l'area di costruzione dell'infrastruttura e le zone limitrofe, verificando congruenza rispetto al progetto.

Non è raro che si venga a conoscenza di elementi che non sono riportati sulle tavole di progetto, come impianti di drenaggio, chiusini, sistemi e impianti idrici o elettrici. In tal caso è strettamente necessario agire per verificare che non vi sia incompatibilità col progetto e integrare tali informazioni, in modo da avere sempre a disposizione un quadro completo e veritiero. A livello pratico, queste operazioni richiedono più di un intervento e ricadono sempre sugli operatori tecnici che ispezionano l'area.

Le attività di ispezione sono solitamente diluite su più sopralluoghi distribuiti nel tempo. Sono attività molto costose a livello di tempo e di risorse umane: un team di tecnici viene interamente impiegato e occupato in tali attività, che presentano caratteristiche sfavorevoli e sgradevoli:

- Rischio di infortunio medio-alto;
- Condizioni di lavoro poco gradevoli, soprattutto nelle stagioni estive e invernali;
- Necessità di svolgere operazioni su lunghe distanze o terreni sconnessi, presupponendo una buona condizione fisica degli operatori;
- Attività ripetitive;
- Impossibilità di avere sotto controllo i lavori svolti sull'intera infrastruttura.

Tra le attività di controllo più dispendiose a livello di tempo e risorse troviamo quella di rilievo tramite laser scanner. Utile per la comparazione tra il contesto reale e il Digital Twin, il rilievo è una di quelle operazioni che possono essere svolte in modo automatizzato dalla macchina. Nel caso studio qui presentato, dove il tratto di ferrovia interessato da progetto è di lun-

ghezza 8 Km, il robot potrebbe essere programmato per fare una raccolta dati ogni 100 m, così da inviare sufficienti informazioni per una corretta comparazione di elementi come pendenze e disassamenti non previsti. Allo stesso modo potrebbero essere prese in considerazione le operazioni richieste nell'esecuzione di un rilievo fotografico.

Rilievo periodico svolto da un team di operatori

In una normale attività di ispezione e rilievo, le operazioni svolte sono le seguenti:

1. Il team di ispezione, composto da 3-4 soggetti, viene inviato in situ, dotato di tutta la strumentazione necessaria alla raccolta dati;
2. Il team deve raggiungere il luogo di partenza del rilievo, il quale potrebbe essere in una posizione difficilmente raggiungibile;
3. Nella fase di rilievo il team deve dividersi i compiti e rendere l'attività il più efficace possibile, riducendo i tempi necessari allo svolgimento dell'intera campagna;
4. Gli operatori devono spostarsi a piedi lungo l'intera infrastruttura, lunga nel caso in oggetto 8 Km. Tale attività implica un rischio alto, soprattutto nei periodi dell'anno con temperature poco miti, stressando particolarmente il fisico degli operatori;
5. La rielaborazione del materiale raccolto avviene a campagna conclusa, a seguito del quale si deciderà in che modo svolgere altri rilievi che vadano a completare i dati. Al team di lavoro è quindi richiesto di fare rilievi e controlli periodici, con lo scopo di:
 - a. Tenere aggiornati i rilievi rispetto lo stato di fatto;
 - b. Verificare incongruenze rispetto lo stato progettuale.

Rilievo periodico svolto con l'ausilio di un robot agile

L'introduzione del robot agile apre la strada a due modalità operative differenti:

- La prima, quella che probabilmente rappresenta la modalità più immediata di raccolta dati, è quella che prevede il comando del robot da parte di un operatore umano. Il robot potrà svolgere i rilievi necessari su comando, velocizzando i processi e permettendo una riduzione del numero di persone coinvolte;
- La seconda prevede invece l'uso del robot in ottica di automatizzare le attività di rilievo, in modo da poter stabilire un processo che possa ripetersi nel tempo in autonomia e senza l'ausilio del supporto umano.
-

E' in questa seconda modalità operativa che probabilmente si trovano maggiori benefici e, indubbiamente, ostacoli.

La dotazione da considerarsi in questa applicazione prevede:

- Spot robot - \$ 74.500;
- Tablet di controllo - \$ 0;
- Sistema Spot CAM+ - \$ 29.750;
- Sistema Spot EAP - \$ 18.450;
- Un numero di Spot Dock idoneo a coprire l'area interessata dalle operazioni di rilievo periodico - costo non riportato;
- Sensori e sistemi di rete distribuiti su tutta l'area interessata dalle operazioni di controllo - costo variabile a mercato.

Con volontà puramente esplorativa, di seguito si elencano quindi le attività che l'operatore, insieme al robot agile, dovrebbero eseguire per automatizzare il processo di rilievo:

1. Prima di recarsi on site, un team di progetto deve definire quali saranno gli step da seguire nell'esecuzione della raccolta dati, mantenendo l'attenzione su alcuni parametri vitali del robot così da preservarne l'utilizzo, la sicurezza e l'integrità. Tra queste caratteristiche troviamo:
 - a. la durata media della batteria,
 - b. la durata di ricarica,
 - c. il tempo necessario al trasferimento dei dati,
 - d. la capacità di elaborazione dei sistemi informatici utilizzati.

Ulteriori elementi da considerare sono di tipo fisico, ad esempio:

Il tipo di terreno su cui il robot dovrà spostarsi,

La distanza tra un punto di ricarica e l'altro,

Eventuali interferenze con altre attività svolte in cantiere

2. Il team di rilievo è composto da 1 operatore umano e un robot agile. L'operatore deve essere abilitato al comando del robot;
3. Il team così composto si reca on site e inizia a svolgere le attività come pianificate nella fase progettuale. Le operazioni da svolgere saranno più che altro collaborative uomo-macchina e di installazione. Per "installazione" si intende il vero e proprio posizionamento di componenti tecnologiche come stazioni di ricarica per il robot, sensori e elementi di comunicazione. In questa fase quindi l'operatore e la macchina non sono chiamati a fare il rilievo, bensì a mettere in piedi quell'infrastruttura tecnologica che permetterà l'automazione di determinate attività da parte del robot. Essenzialmente, possiamo individuare due componenti strategiche:
 - a. Quella hardware, composta da elementi fisici da installare;
 - b. Quella software, che corrisponde alla programmazione del robot e delle sue operatività;
4. Il robot sarà quindi in grado di operare autonomamente, partendo da una stazione di partenza e spostandosi nei vari punti d'interesse

dove potrà effettuare rilievi fotografici o laser, raccogliere informazioni da sensori, inviare dati in cloud e chiaramente ricaricarsi. E' ipotizzabile l'uso di una procedura che prevede un rilievo ogni 50 metri, mentre i momenti di ricarica della macchina possono essere effettuati ogni 1000 metri.

a destra

Comparazione tempi di rilievo fotografico uomo/macchina

	Rilievo svolto da un team di operatori umani	Automazione dei processi di rilievo tramite il robot agile
Installazione e attivazione del sistema	Non necessaria	Richiede la presenza di 1 operatore specializzato. 8h.
Numero di soggetti coinvolti nello svolgimento della campagna di rilievo	Almeno 3 operatori	1 robot agile
Tempo impiegato nelle attività di rilievo	8 ore * 1	8 ore * 1
Successivi controlli e raccolta dati	Svolti da operatori on site	Svolti dal robot e automatizzati

Controllo delle operazioni

Il controllo delle operazioni svolte in-situ è una delle attività che richiede più tempo e attenzione agli operatori tecnici che sono chiamati a fare la verifica dei lavori. Spesso però, i lavori si svolgono in contemporanea in più luoghi distribuiti, proprio come in questo caso studio, su distanze nell'ordine dei 1000 metri. Risulta quindi impossibile per gli incaricati al controllo, monitorare ogni singola operazione effettuata in montaggi, assemblaggi, saldature, spostamenti e depositi di materiale.

Controllo delle operazioni da parte di un operatore umano

Se dovessimo descrivere le attività svolte dall'operatore umano incaricato a controllare le operazioni svolte in un cantiere, la descrizione sarebbe particolarmente destrutturata. I cantieri sono luoghi in continuo movimento dove più attività avvengono in contemporanea seguendo i piani di lavoro e, a volte, ricadendo in slot temporali variabili a seconda di necessità, imprevisti, incongruenze, consegne di materiale, problemi coi fornitori.

Da questa condizione, ne deriva quindi la necessità di una presenza costante di un soggetto di controllo on site, che sia in grado di rispondere a eventuali quesiti bloccanti rispetto alle attività, o che possa in qualche modo dare indicazioni per rispetto al modus operandi delle attività in fase di svolgimento.

Questo ruolo si complica ulteriormente nel Caso Studio in oggetto, in quanto non si parla di un cantiere di dimensioni ridotte, ma di un'intera infrastruttura di lunghezza pari a 8 Km dove, simultaneamente, i lavori procedono. Se da un lato i tecnici coinvolti devono essere ben addestrati e consapevoli delle proprie responsabilità, dall'altro l'attività di controllo da parte di una



a sinistra

Tratto ferroviario Novellara-San Giacomo a Guastalla © ArchLiving

persona incaricata risulta di vitale importanza, così da assicurare integrità progettuale e rispetto delle norme.

E' facile capire però quanto sia complesso un tema come questo, dove il singolo operatore incaricato al controllo delle operazioni non può essere presente in più luoghi contemporaneamente. Inoltre, si aggiunge la criticità relativa agli spostamenti tra un punto e l'altro dell'infrastruttura, che richiedono tempo e, spesso, risultano estremamente limitanti.

Controllo delle operazioni tramite un robot agile

Il supporto di un sistema robotico può quindi essere di grande valore in questo caso di studio. Il robot potrebbe affiancare l'operatore incaricato al controllo svolgendo a sua volta delle operazioni di controllo a distanza, essendo controllato da remoto o dall'operatore stesso, o da un team esterno.

Proprio come nel caso applicativo precedente, il robot necessiterebbe di una sua infrastruttura di supporto, composta da sensoristica e stazioni di ricarica dislocate su tutta l'estensione interessata. Questa infrastruttura tecnologica potrebbe essere la stessa già ideata nella fase di Rilievo e, proprio per questo motivo, lo step di progettazione assume ancora più importanza.

La dotazione da considerarsi in questa applicazione prevede:

- Spot robot - \$ 74.500;
- Tablet di controllo - \$ 0;
- Sistema Spot CAM+ - \$ 29.750;
- Sistema Spot EAP - \$ 18.450;
- Un numero di Spot Dock idoneo a coprire l'area interessata dalle operazioni di controllo periodico - costo non riportato;
- Sensori e sistemi di rete distribuiti su tutta l'area interessata dalle operazioni di controllo - costo variabile a mercato.

In sostanza, le operazioni da svolgere per rendere operativa una funzione come quella descritta sono le seguenti:

1. Prima di recarsi on site, un team di progetto deve definire qual è l'infrastruttura tecnologica di cui il robot necessita per mantenersi funzionante. Per farlo, è necessario valutare una serie di caratteristiche:
 - a. la durata media della batteria,
 - b. la durata di ricarica,
 - c. il tempo necessario al trasferimento dei dati,
 - d. la capacità di elaborazione dei sistemi informatici utilizzati. Ulteriori elementi da considerare sono di tipo fisico, ad esempio:
 - e. Il tipo di terreno su cui il robot dovrà spostarsi,

- f. La distanza tra un punto di ricarica e l'altro,
 - g. Eventuali interferenze con altre attività svolte in cantiere
2. Se non già presente, il robot deve essere quindi portato da un operatore abilitato, il quale sarà incaricato di mettere in piedi l'infrastruttura a sostegno delle attività come da progetto. Anche in questo caso, distinguiamo due componenti
- a. Quella hardware, composta da elementi fisici da installare;
 - b. Quella software, che corrisponde alla programmazione del robot e delle sue operatività;
3. Il robot sarà quindi in grado di operare autonomamente, partendo da una stazione di partenza e sposandosi, secondo due modalità:
- a. Se controllato da remoto, il robot sarà controllato da un operatore e andrà a verificare, tramite il sistema di visione integrato, le operazioni svolte in tempo reale in cantiere;
 - b. Se programmato, il robot effettua operazioni di controllo automatizzate, spostandosi su un'area ben delimitata e definita, scambiando informazioni con sensori e raccogliendo materiale fotografico come definito dai processi impostati.

	Controllo svolto da un operatore umano	Controllo svolto da un robot agile
Installazione e attivazione del sistema	Non necessaria	Richiede la presenza di 1 operatore specializzato. 8h.
Numero di soggetti coinvolti nello svolgimento del controllo	Almeno 1 operatore	1 robot agile
Tempo impiegato nelle attività di controllo	8 ore (solitamente pianificate su giornate intere)	Non definito. E' possibile effettuare controlli alla necessità
Automazione dei processi o svolgimento di attività ripetitive	Svolti da operatori on site, che ogni volta devono recarsi in loco	Svolti dal robot e automatizzati

a sinistra

Comparazione uomo/macchina nelle operazioni di controllo

Conclusioni

Controllo e monitoraggio continuo

I supporti tecnologici possono operare in autonomia e segnalare incongruenze. In alternativa, l'operatore può prendere controllo della macchina e navigarla da remoto per eseguire dei controlli. In questo modo, la frequenza dei controlli è maggiore.

Ottimizzazione dei tempi del personale tecnico, il quale non deve essere personalmente in loco con alta frequenza;

Automazione delle attività ripetitive su ampie superfici

Le attività ripetitive e di raccolta informazioni vengono delegate al robot e alle tecnologie digitali che ne elaborano i dati. Agli operatori vengono forniti risultati di elaborazioni, velocizzando il processo decisionale e progettuale.

Con l'introduzione dei robot in queste attività la ripetizione di task e la successiva restituzione possono essere automatizzate o gestite a distanza, favorendo:

- La riduzione degli spostamenti richiesti ai tecnici;
- Una conseguente riduzione del costo delle operazioni.
- Con laserscanner posso fare differenze tra progetto e rilievo.
- Con drone fai ortofoto, ma non arriva al dettaglio.
- Lavoro ripetitivo, attività ordinaria di ispezione.

Criticità

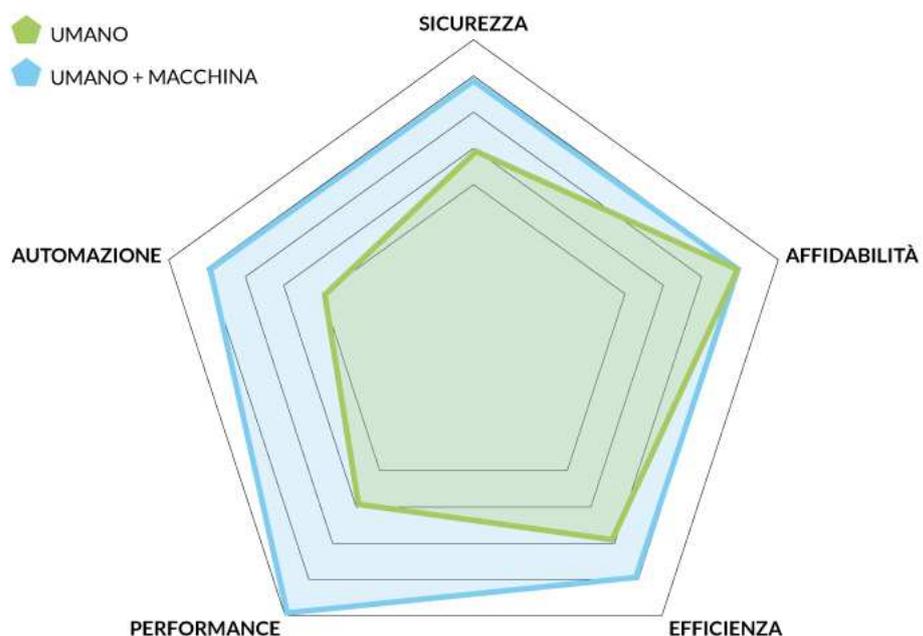
Automatizzare le operazioni in ambienti poco sicuri e in forte cambiamento come i cantieri di infrastrutture è un'attività molto complessa, che richiede una pianificazione molto approfondita e incrociata tra tutto quello che avviene on site.

Se il robot si muove in solitaria, deve essere in grado di segnalare la propria presenza ai lavoratori. L'implementazione di un segnale acustico può essere una soluzione;

Il robot deve essere sempre il più possibile visibile;

La strumentazione dislocata in loco ha inevitabilmente un valore economico notevole. Le stazioni di ricarica del robot agile, come anche gli strumenti utilizzati per il rilievo e il controllo devono essere dislocate in punti strategici, progettati a priori e sicuri;

In caso di eventi atmosferici eccezionali deve essere assicurata la protezione del materiale tecnologico.



CONCLUSIONI

Grazie alle numerose tecnologie digitali che attualmente sono integrate nelle attività edilizia, i cantieri sono già un bacino di acquisizione di “dati” che è possibile interpolare tra loro. A partire dalla progettazione BIM fino a informazioni più specifiche rilevabili *on-site*, la qualità di queste informazioni è elevata e di grande valore. La quantità è peraltro impressionante: dati integrati nelle fasi di progettazione, specialmente tramite BIM; dati raccolti da attività svolte *on-site* o di tipo reportistico; dati rilevati da strumenti mobili o sensori fissi posizionati su materiali e strumentazioni; informazioni inoltrate da attività di amministrazione e contabilità; informazioni di project management.

Nel settore edilizio, la ricerca (demandata soprattutto ad aziende) di soluzioni pratiche e immediatamente implementabili è sempre più estesa, e sempre più contempla l'utilizzo di robot agili:

- FARO Trek ⁴² - sistema di scansione laser automatizzata;
- Leica Geosystems ⁴³ - sistema di scansione 3D dotato di LIDAR;
- Trimble ⁴⁴ - Trimble e Boston Dynamics hanno collaborato a una soluzione integrata per la raccolta dati topografici, da cantieri e in edifici esistenti;
- Holo Builder ⁴⁵ - sistema che permette la programmazione di percorsi di rilievo automatizzati;

Tra i vari progetti sperimentali o fasi di test proposti negli anni più recenti, uno in particolare richiama il campo di studio di questo documento: la collaborazione tra lo studio Foster + Partners e la famosa firma Applied Research + Development (ARD) group sull'applicazione del robot agile in cantiere⁴⁶.

Lo sforzo di ARD è volto a testare le potenzialità di rilievo tridimensionale sfruttando i robot agili come piattaforma di supporto, nel tentativo di incontrare le necessità delle grandi aziende nel campo delle costruzioni impegnate in importanti operazioni di rilievo, col fine di integrare informazioni mancanti e aggiungere dettagli al proprio lavoro. Tale necessità si presenta soprattutto nei progetti più ambiziosi, dove le geometrie dell'architettura

42. FARO. “FARO® Trek 3D Laser Scanning Integration.” *FARO*, 2021, <https://www.faro.com/en/Products/Hardware/Trek-3D-Laser-Scanning-Integration>. Accessed 02 06 2021.

43. Leica. “Leica Geosystems Offers Mobile, Agile 3D Reality Capture Solution for Boston Dynamics Spot.” *Leica Geosystems*, 22 02 2021, https://leica-geosystems.com/about-us/news-room/news-overview/2021/02/2021_02_22_boston_dynamics. Accessed 21 05 2021.

44. Trimble. “Connected Robotics and Precision Data Collection for Construction.” *Construction Trimble*, 2021, <https://construction.trimble.com/en/spot>. Accessed 24 05 2021.

45. “Spot Walk.” *The Robot Report*, 21 11 2019, <https://www.therobotreport.com/spotwalk-gathers-construction-data-holobuilder-boston-dynamics/>. Accessed 4 05 2021.

46. Boston Dynamics. “Foster + Partners.” *bostondynamics.com*, 2020, <https://www.bostondynamics.com/spot/resources/foster-and-partners>. Accessed 12 05 2021.

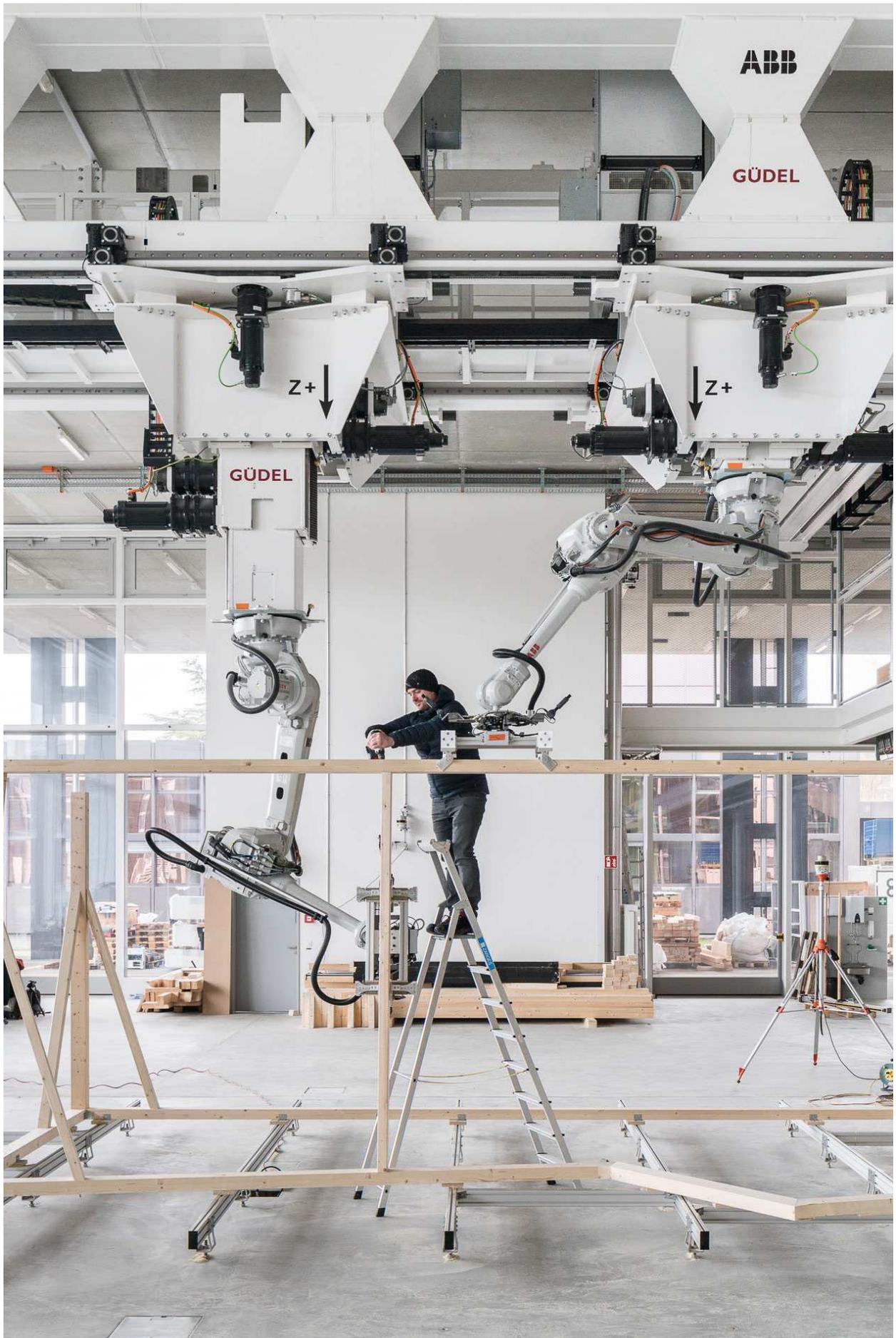
sono complesse e non agevolano le operazioni di rilievo. La sperimentazione prevede l'uso del robot agile come piattaforma in aiuto a progettisti e costruttori nel ricevere aggiornamenti sullo stato di fatto del cantiere in modo regolare e automatizzato, e capace di incrociare i dati raccolti con altre informazioni di logistica e stoccaggio materiali.

Per procedere con il test, il team di ricerca ha identificato come la migliore opportunità di sperimentazione possibile, il cantiere Battersea Power Station, ovvero un recupero strutturale di un edificio a funzione mista.

Il team ha utilizzato il robot agile Spot per i propri test nel febbraio 2020, realizzando le scansioni dei piani inferiori, dove partizioni interne erano già state costruite e gli impianti erano già stati installati. Il team ha poi provveduto a utilizzare Spot all'interno di alcuni spazi rinnovati della sede londinese di Foster + Partners caricandole su Avvir, un sistema software basato su cloud che è in grado di quantificare e validare l'accuratezza della costruzione reale, comparando le scansioni rispetto al suo Digital Twin digitale raggiungibile su software BIM. Il dettaglio raggiunto nelle scansioni, secondo il parere dei progettisti, è stato di alto livello e ha dimostrato una certa facilità nelle operazioni di scansioni tridimensionali effettuate dal robot.

Foster + Partners ha riportato che il valore aggiunto di questo esperimento risiede innanzitutto nella capacità di generare scansioni credibili, in modo ripetitivo e distribuite in una timeline definita. Se è vero che un operatore umano effettuerebbe il rilievo in autonomia invece che trasportare e attivare il robot in un nuovo cantiere –per la pianificazione e preparazione necessaria– è anche vero che il robot agile è in grado di effettuare più rilievi in modo sequenziale sullo stesso sito di progetto, in modo più veloce e quindi anche più economico.

La sperimentazione nel campo è sempre più avanzata e sempre più applicata a contesti fisici operativi: come per la maggior parte delle tecnologie di uso corrente, l'utilizzo del robot agile –tanto nelle fasi di progettazione quanto in quelle di costruzione– appartiene ad un futuro sempre più vicino, per il quale bisogna essere preparati. Gli autori di questo documento ne sono convinti: i caratteri innovativi vanno seguiti, compresi, provati. Rispetto alla possibilità di utilizzare il robot agile nelle fasi di rilievo e ispezione, ai fini dell'attività progettuale e di monitoraggio, è necessario quanto prima attivare una sperimentazione su un luogo fisico che si interfacci con le criticità specifiche del contesto territoriale e operativo italiano. Entro l'obiettivo, da una parte, di assecondare il continuo mutamento dei modi di affrontare il progetto, e dall'altra di iniziare un'operazione di ricognizione ad una scala sempre più vasta utile a inquadrare in modo più preciso i caratteri territoriali con cui i tecnici si confrontano quotidianamente.



a sinistra

Robot programmati per costruire moduli portanti in legno, nell'ambito di un progetto dell'ETH di Zurigo per costruzioni residenziali in legno alte tre piani © ETH Zurich

Bibliografia

ANCE. *Osservatorio congiunturale sull'industria delle costruzioni*. Direzione Affari Economici, Finanza e Centro Studi, 2021.

The Associated General Contractors Of America. "Eighty percent of contractors report difficulty finding qualified craft workers to hire as firms give low marks to quality of new worker pipeline." *agc.org*, 27 08 2019, <https://www.agc.org/news/2019/08/27/eighty-percent-contractors-report-difficulty-finding-qualified-craft-workers-hire-0>. Accessed 25 05 2021.

BIMidea. *La Normativa UNI 11337*. BIM idea, 2020. *BIMidea*, <https://www.bimidea.it/uni11337/>. Accessed 07 maggio 2021.

Boston Dynamics. "+ARM." *Boston Dynamics*, https://shop.bostondynamics.com/spot-arm?cclcl=en_US. Accessed 05 06 2021.

Boston Dynamics. "+Edge CPU." *Boston Dynamics*, 2021, <https://shop.bostondynamics.com/spot-core>. Accessed 01 06 2021.

Boston Dynamics. "+EDGE GPU." *Boston Dynamics*, 2021, https://shop.bostondynamics.com/Spot%20CORE%20AI?cclcl=en_US. Accessed 01 06 2021.

Boston Dynamics. "Foster + Partners." *bostondynamics.com*, 2020, <https://www.bostondynamics.com/spot/resources/foster-and-partners>. Accessed 12 05 2021.

Boston Dynamics. *Game Changing Automation, Six Steps for Implementing Agile Mobile Robots*. 2021.

Boston Dynamics. "+Inspection." *Boston Dynamics*, 2021, https://shop.bostondynamics.com/spot-cam-ptz?cclcl=en_US. Accessed 01 06 2021.

Boston Dynamics. "+LIDAR." *Boston Dynamics*, 2021, <https://shop.bostondynamics.com/spot-EAP>. Accessed 01 06 2021.

Boston Dynamics. "Spot." *shop.bostondynamics.com*, 2021, <https://shop.bostondynamics.com/spot>. Accessed 01 06 2021.

Boston Dynamics. "Spot CAM." *Boston Dynamics*, 2021, <https://shop.bostondynamics.com/spot-cam>. Accessed 01 giugno 2021.

Boston Dynamics. "Spot SDK." *dev.bostondynamics.com*, 2021, <https://dev.bostondynamics.com/>. Accessed 02 06 2021.

Cagan, Jonathan, et al. "A Framework for Computational Design Synthesis: Model and Applications." *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 5, no. 3, 2005, pp. 171-181.

Daas, Mahesh. "Being thinking doing becoming: framing robotics in architecture." *Towards a Robotic Architecture*, Applied Research and Design Publishing, 2018, pp. 12-27.

Daas, Mahesh, and Andrew John Wit. "Robotic Architecture." *Towards a Robotic Architecture*, Applied Research and Design Publishing, 2018, pp. 140-213.

Daas, Mahesh, and Andrew John Wit. *Towards a Robotic Architecture*. First ed., Novato, USA, Applied Research and Design Publishing, 2018.

Downs, Anthony, et al. "Assessing Industrial Robot agility through international competitions." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 70, no. 1, 2021, pp. 102-113. *Science Direct*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584520303239>. Accessed 1 giugno 2021.

EU BIM Task Group. *Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector*. EU, 2017. *EUBIM*, <http://www.eubim.eu/>.

European Construction Sector Observatory. "Country profile Germany." *EC Europa*, 01 2021, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/40681/attachments/1/translations/en/renditions/pdf>. Accessed 27 05 2021.

FARO. "FARO® Trek 3D Laser Scanning Integration." *FARO*, 2021, <https://www.faro.com/en/Products/Hardware/Trek-3D-Laser-Scanning-Integration>. Accessed 02 06 2021.

Harrison, W., et al. "The Agile Robotics for Industrial Automation Competition." *AI Magazine*, vol. 39, no. 4, 2018, pp. 73-76.

International Federation of Robotics. "IFR presents World Robotics Report 2020 - Report 2.7 Million Robots Work in Factories Around the Globe." *ifr.org*, 2020, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/record-2.7-million-robots-work-in-factories-around-the-globe>. Accessed 12 05 2021.

Kojima, Kazuhiro. "Generative Process of Architectural Configurations." *Empathic Space - The Computation of Human-Centric Architecture*, Architectural Design, 2014, pp. 38-45.

Leica. "Leica Geosystems Offers Mobile, Agile 3D Reality Capture Solution for Boston Dynamics Spot." *Leica Geosystems*, 22 02 2021, https://leica-geosystems.com/about-us/news-room/news-overview/2021/02/2021_02_22_boston_dynamics. Accessed 21 05 2021.

Parascho, Stefana, et al. "Cooperative Fabrication of Spatial Metal Structures." *Fabricate 2017*, UCL Press, 2017, pp. 24-29.

Paynter, H. M. *Analysis and Design of Engineering Systems*. Cambridge, MA, MIT Press, 1961.

Sheil, Bob, et al. *Fabricate 2017*. London, UCL Press, 2017.

"Spot Walk." *The Robot Report*, 21 11 2019, <https://www.therobotreport.com/spotwalk-gathers-construction-data-holobuilder-boston-dynamics/>. Accessed 4 05 2021.

Tassinari, Alessandro. *Costruzione Robotica e Stampa 3D nel Futuro dell'Architettura*. 2016.

Tierney, Thérèse F. *Intelligent Infrastructure: zip cars, invisible networks, and urban transformation*. First ed., University of Virginia Press, 2016.

Trimble. “Connected Robotics and Precision Data Collection for Construction.” *Construction Trimble*, 2021, <https://construction.trimble.com/en/spot>. Accessed 24 05 2021.

Turner, Christopher J., et al. “Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and opportunities.” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 2, 2021, pp. 746 - 756.

Vale, Christopher A. W., and Kristina Shea. *A Machine Learning-Based Approach to Accelerating Computational Design Synthesis*. Stockholm, INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN ICED 03, 19-21 August 2003.

Wyman, Oliver. *Digitalization of the Construction Industry: the Revolution is Underway*. Oliver Wyman INC, 2018.

Zhang, Ye, et al. *Digital Twin in Computational Design and Robotic Construction of Wooden Architecture*. no. Digital Twin Technology in the Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry, 02 April 2021.

METABUILDING Innovation Ecosystem
SEED Innovation Vouchers
EU Horizon 2020

© ArchLivIng



ISBN 979-12-200-9236-4



9 791220 092364