

Paper n° #

(il nr di riferimento verrà fornito all'autore)

ROBOT NO-MAN ENTRY 4.0 PER BONIFICHE IN SPAZI CONFINATIAlessandro Gerotto, Alberto Feletto, Edoardo Marangoni¹¹ Gerotto Federico Srl**1. INTRODUZIONE**

La sicurezza nei luoghi di lavoro è un tema al centro dell'attenzione del legislatore, delle associazioni di categoria, delle rappresentanze sindacali e delle imprese. Lo sviluppo di norme tecniche e strumenti legislativi – a livello nazionale, europeo e internazionale – testimonia l'elevato grado di sensibilità di tutti gli attori coinvolti nel promuovere un approccio sempre più efficace nel gestire la sicurezza. Resta il fatto che i dati continuano a dipingere un panorama su cui c'è ancora molto da fare. Negli ultimi dieci anni, gli spazi confinati e le zone con rischio di esplosione (ATEX) hanno rappresentato alcuni degli ambienti più pericolosi per i lavoratori in Italia. I dati del sistema di sorveglianza nazionale InforMO dell'INAIL, che coprono il periodo 2002–2014, documentano 69 incidenti gravi o mortali avvenuti in questi contesti, con un bilancio di 90 decessi. Le cause principali sono l'asfissia (64,4%) e l'annegamento (17,7%), con un dato particolarmente allarmante: nel 41% dei casi si sono registrati più decessi a causa di tentativi di soccorso non sicuri da parte di colleghi. I luoghi più frequentemente coinvolti sono cisterne, serbatoi e autoclavi (28,8%), bacini (22,2%) e pozzetti (12,5%), che insieme rappresentano il 63,5% degli scenari incidentali.

Accanto al lavoro essenziale del legislatore e degli organi di regolamentazione internazionale, è compito delle aziende proporre soluzioni innovative che permettano di proporre approcci tecnologici. Per rimanere nell'ambito delle attività di bonifica e risanamento all'interno di spazi confinati e a rischio esplosione, da una decina d'anni c'è stata una forte crescita di soluzioni cosiddette "No-Man Entry" che permettono di limitare o evitare l'ingresso dell'uomo in questi ambienti ad alto rischio.

In questo paper, verranno analizzati il contesto normativo e applicativo delle tecnologie robotiche no-man entry per poi proporre alcuni sviluppi futuri che permetteranno di integrare le moderne tecnologie digitali (4.0, comunicazione uomo-macchina, intelligenza artificiale) all'interno dei macchinari ma anche degli ambienti di lavoro.

2. IL CONTESTO NORMATIVO

La gestione delle attività in spazi confinati e in ambienti a rischio di esplosione (ATEX) è regolamentata da un insieme articolato di normative, linee guida e prassi tecniche, volte a garantire la sicurezza dei lavoratori in contesti caratterizzati da elevata pericolosità. Per quanto riguarda gli spazi confinati, il riferimento legislativo principale è il D.Lgs. 81/2008, in particolare il Titolo IV – Cantieri temporanei e mobili, e l'Allegato IV che disciplina gli ambienti di lavoro. Tuttavia, non esiste una definizione univoca e dettagliata di "spazio confinato" nel Testo Unico, motivo per cui si fa riferimento alla normativa tecnica e alla Prassi di Riferimento UNI/PdR 177:2022, che fornisce indicazioni operative per l'identificazione e la gestione del rischio negli ambienti sospetti di inquinamento o confinati. Questa prassi, sviluppata con il supporto di INAIL e Vigili del Fuoco, integra e aggiorna la precedente UNI 11719:2018, oggi ritirata.

Ulteriori riferimenti sono il D.P.R. 177/2011, che individua i requisiti di formazione, esperienza, sorveglianza sanitaria e idoneità delle imprese e dei lavoratori operanti in ambienti sospetti di inquinamento o confinati; UNI EN 689:2019, relativa alla valutazione dell'esposizione per inalazione agli agenti chimici; UNI ISO 45001:2023, che introduce un sistema di gestione della salute e sicurezza sul lavoro integrabile in ottica di miglioramento continuo. Per quanto riguarda gli ambienti ATEX, la normativa italiana recepisce le direttive europee ATEX 2014/34/UE (per la progettazione e costruzione di apparecchiature destinate all'uso in atmosfere esplosive) e ATEX 99/92/CE (per la protezione dei lavoratori esposti al rischio di atmosfere esplosive). Queste direttive sono state recepite in Italia con il D.Lgs. 85/2016 e con il D.Lgs. 233/2003, quest'ultimo con riferimento alla protezione da atmosfere esplosive nei luoghi di lavoro

La definizione corretta di spazio confinato è fornita dalla norma UNI 11958:2024, pubblicata il 14 novembre 2024. Secondo questa norma, uno spazio confinato è definito come: "Spazio circoscritto non progettato e costruito per la presenza continuativa di un lavoratore, ma di dimensioni tali da consentirne l'ingresso e lo svolgimento del lavoro assegnato, caratterizzato da vie di ingresso o uscita limitate e/o difficoltose, con possibile ventilazione sfavorevole, all'interno del quale non è possibile escludere la presenza o lo sviluppo di condizioni pericolose per la salute e la sicurezza dei lavoratori."

Invece, un'atmosfera esplosiva è una miscela di sostanze infiammabili in aria (gas, vapori, nebbie o polveri) che, in presenza di un innesco, può causare un'esplosione. Le **Direttive ATEX** prevedono una classificazione delle aree pericolose in base alla frequenza e durata della presenza dell'atmosfera esplosiva.

Classificazione delle zone a rischio di esplosione:

Per gas, vapori, nebbie infiammabili:

- **Zona 0:** atmosfera esplosiva presente in modo continuo o per lunghi periodi.
- **Zona 1:** atmosfera esplosiva presente occasionalmente durante il normale funzionamento.
- **Zona 2:** atmosfera esplosiva presente raramente e per breve durata.

Per polveri combustibili:

- **Zona 20:** atmosfera esplosiva presente in modo permanente o frequente.
- **Zona 21:** atmosfera esplosiva presente occasionalmente.
- **Zona 22:** atmosfera esplosiva presente raramente e per breve durata.

Nella seguente tabella proponiamo un elenco dei principali luoghi che possono essere catalogati come spazi confinati o a rischio esplosione (ATEX).

Tabella 1. Catalogazione spazi confinati e zone a rischio esplosione

Spazi Confinati	Ambienti ATEX
Cisterne e serbatoi	Impianti chimici e petrolchimici
Silos e tramogge	Raffinerie e centrali a biogas
Vasche di raccolta fanghi	Silos e impianti di stoccaggio cereali o polveri combustibili
Pozzetti e condotte fognarie	Impianti farmaceutici e laboratori con solventi
Autoclavi, caldaie, recipienti a pressione	Aree di verniciatura e lavorazione con solventi infiammabili
Gallerie, cunicoli e camere di ispezione	Officine con emissione di gas, vapori o polveri combustibili
Intercapedini tecniche o ambienti interni di impianti	Serbatoi interrati e stazioni di pompaggio
Camere di spinta per microtunnelling e trivellazioni	Industrie alimentari con processi di essiccazione o miscelazione

3. LE TECNOLOGIE ROBOTICHE

La crescente attenzione alla sicurezza dei lavoratori, unita alla severità delle normative che regolano gli ambienti ATEX (Atmosphères Explosibles), in particolare le classificazioni Zona 0, ha generato una forte domanda di soluzioni tecnologiche che eliminino la presenza umana nelle aree ad alto rischio. Questo fenomeno è particolarmente evidente nel settore oil & gas, dove è elevata la presenza di serbatoi di stoccaggio all'interno di raffinerie e depositi di idrocarburi. Nel 2023 sono state registrate 825 raffinerie attive a livello globale, con una crescita di capacità prevista del 15% tra il 2023 e il 2027 (fonte: GlobalData's refinery database). Solo in Europa si contano circa 90 raffinerie, cui si aggiungono i numerosi terminali di stoccaggio: secondo il report "Tank Terminals in Europe – Key Figures" pubblicato nel 2023 dalla FETSA (Federation of European Tank Storage Associations), in Europa sono presenti 768 terminali.

Storicamente, le attività di pulizia dei serbatoi, aspirazione e bonifica dei terreni contaminati da idrocarburi sono state eseguite manualmente. Sebbene regolamentate dalle normative internazionali sugli spazi confinati, tali attività presentano un elevato grado di rischio, ulteriormente aggravato in presenza di atmosfere potenzialmente esplosive. Per questo motivo, a partire dalla metà degli anni 2000, si sono progressivamente affermati i robot telecomandati (Remotely Operated

Vehicles – ROVs), noti anche come “robot No-Man Entry”, che rappresentano oggi una soluzione tecnologicamente avanzata per sostituire l’uomo in attività pericolose, come la rimozione di liquidi o materiali solidi da zone critiche.

I robot No-Man Entry, o ROV (Remotely Operated Vehicles), sono macchine robotiche telecomandate progettate per la rimozione di materiali in spazi confinati e ambienti pericolosi, inclusi quelli classificati ATEX. Queste tecnologie, in abbinamento a unità esterne di aspirazione (come vacuum truck o escavatori a risucchio) oppure dotate di pompe volumetriche, a lobi o draganti, consentono l’aspirazione, il pompaggio o il trasporto di materiali accumulati (fanghi, polveri, liquidi, solidi) da serbatoi, condotte e altri ambienti confinati.

Le applicazioni principali includono:

- bonifiche industriali e ambientali;
- rimozione di fanghi da serbatoi e bacini;
- interventi su terreni contaminati da idrocarburi o liquidi percolanti;
- aspirazione di polveri e ceneri derivanti da processi industriali.

In base alla natura, consistenza e densità del materiale da rimuovere, i robot possono essere equipaggiati con accessori specifici per ottimizzare le operazioni. In caso di materiali compattati o calcificati, è possibile installare coclee frontali con lame rotanti per frantumazione meccanica. Per fluidificare il materiale e agevolarne l’aspirazione o il pompaggio, i robot possono essere dotati di getti ad alta pressione (oltre i 200 bar) orientati frontalmente.

Le tipologie di robot variano a seconda dei contesti applicativi, dei materiali da aspirare e dalla logistica di cantiere. Lo schema seguente riassume le principali categorie di robot dedicati all’aspirazione o movimentazione di materiale. Esiste poi una gamma di robot dedicati a operazioni di videoispezione o robot magnetici per la pulizia o la dipintura di pareti verticali (come le chiglie delle navi o le pareti di silos o tank).

Tabella 2. Tipologie di robot per aspirazione e movimentazione di materiale

Robot per aspirazione	
Robot per zone ATEX	
Robot con pompa a bordo	
Robot per scavo/digger	

Robot a batteria	
Robot subacquei	

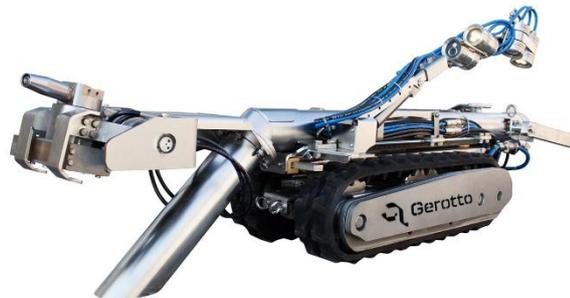


Figura 1. Esempio di no-man entry robot per applicazione in ambienti ATEX Zona 0

Tipicamente l'allestimento di un cantiere con tecnologie robotiche prevede tre elementi costitutivi:

- il robot: un macchinario semovente cingolato con sistema di telecamere e luci LED per poter operare da remoto. Sul sottocarro è montato un tubo di aspirazione, collegato all'unità aspirante (vacuum truck o escavatore a risucchio) o con una pompa a bordo
- Una unità di controllo che può essere allestita o su supporti mobili (Skid frame) o all'interno di container. L'unità di controllo ha come elementi di base: monitor per la visione da remoto, distributori idraulici per movimentare il robot. Da questa unità di controllo parte un fascio (ombelicale) formato dai tubi e i cavi elettrici che permettono di azionare i movimenti della macchina e alimentare le telecamere e le luci.
- Una unità di potenza – con motore endotermico o elettrico – per alimentare il sistema.

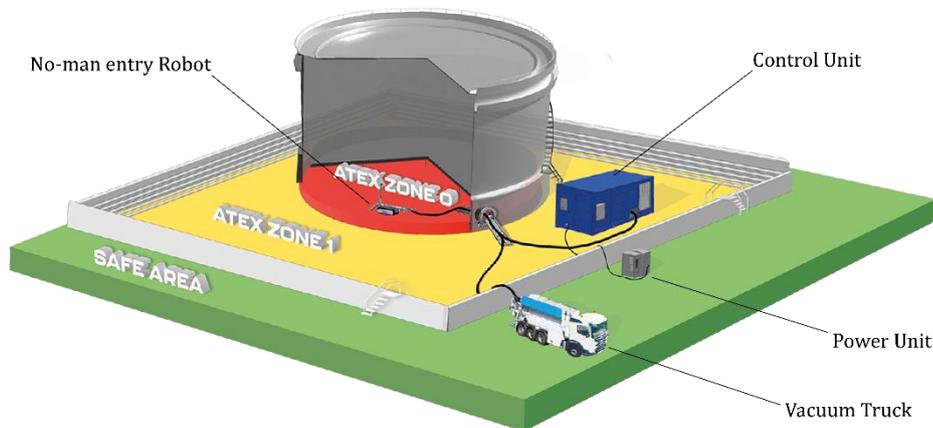


Figura 2. Layout di cantiere con le suddivisioni delle zone ATEX.

4. ROBOT PER LA PULIZIA DI UNA BOTTE A SIFONE

L'utilizzo di tecnologie robotiche è trasversale a diversi settori industriali che vanno dall'oil&gas, passando per le industrie minerarie, il mondo delle materie prime alimentari, ecc. L'utilizzo di queste tecnologie è diffuso anche nel settore delle infrastrutture civili per le operazioni di pulizia di condotte di adduzione, canali di scolo, vasche di prima pioggia, vasche di depurazione.

Un esempio pratico dell'impiego di queste soluzioni è la rimozione di materiale all'interno di una botte a sifone, fatta utilizzando i robot in abbinata a un escavatore a risucchio. All'interno di un progetto di messa in sicurezza idraulica del territorio, un Consorzio di Bonifica ha effettuato una manutenzione straordinaria di una infrastruttura idrica strategica per la zona e per tutta la parte Sud della zona industriale di Padova. Si tratta di un'area ad alta urbanizzazione ed è molto importante per la rete consortile, in quanto è un nodo cruciale per la distribuzione della risorsa irrigua nei territori posti a sud di essa. Il Consorzio ha scelto i servizi di Gerotto per rimuovere il materiale accumulato all'interno della botte a sifone del Canale Orsaro, situata all'interno dell'area interportuale di Padova in corrispondenza del tratto iniziale dell'idrovia Padova – Venezia. La botte a sifone è un manufatto, degli anni '80, lungo circa 100 metri; è formato da due canne accostate in calcestruzzo armato con dimensioni di due metri d'altezza e un metro e mezzo di larghezza.

Per l'intervento le squadre di Gerotto hanno utilizzato un digger radiocomandato: si tratta di una macchina speciale su cingoli, dotata di luci led e telecamere che permettono di manovrare da remoto il robot monitorando i movimenti su una control unit posta all'esterno. Il robot è dotato di una benna frontale che porta il materiale alla bocca di aspirazione collocata fra i due cingoli. L'escavatore a risucchio, posto all'esterno della botte a sifone, grazie alle potenti turbine e al tubo di aspirazione di circa 100 mt collegato al robot ha aspirato tutto il materiale – soprattutto terra, fanghi e detriti depositati negli anni. La peculiarità di questa tecnologia, che sfrutta l'aria come vettore, è proprio quella di poter aspirare qualsiasi materiale a secco, quindi senza dover aggiungere acqua per fluidificare il tutto. Questo consente di ridurre di molto il volume di rifiuti generati e di ridurre al minimo l'impiego di acqua ad alta pressione per disgregare il materiale. Inoltre, il fatto di impiegare gli operatori all'esterno della botte a sifone aumenta la sicurezza del cantiere e le condizioni di lavoro delle persone.



Figura 3. Il digger radiocomandato all'interno della botte a sifone

5. EVOLUZIONE TECNOLOGICA: SENSORI, AUTOMAZIONE E CONNETTIVITÀ

L'integrazione di sensoristica evoluta e sistemi intelligenti rappresenta il prossimo passo nello sviluppo dei robot No-Man Entry, con l'obiettivo di espandere le funzionalità operative, aumentare la precisione delle attività e migliorare la tracciabilità degli interventi in ambienti confinati e ATEX.

I robot possono essere dotati di un'architettura di controllo avanzata basata su PLC industriali (Programmable Logic Controller), in grado di gestire in tempo reale i parametri operativi (pressioni, portate, temperature) e interfacciarsi con dispositivi esterni tramite protocolli di comunicazione standard. L'HMI (Human Machine Interface), installabile a bordo macchina o su pannello remoto, consente all'operatore di monitorare in modo intuitivo lo stato del robot, ricevere allarmi in tempo reale e modificare le impostazioni operative con elevato grado di sicurezza.

Sul fronte della sensoristica, è possibile integrare:

- Sensori di spessore a ultrasuoni per monitorare lo stato delle pareti interne di serbatoi o tubazioni, contribuendo alla manutenzione predittiva;
- Geolocalizzatori indoor e outdoor, per tracciare i movimenti del robot
- Sensori ambientali (gas, temperatura, umidità) per rilevare condizioni pericolose in tempo reale.

In ottica Industria 4.0, i robot possono essere connessi a infrastrutture IoT (Internet of Things) che permettono l'acquisizione, l'archiviazione e l'analisi dei dati operativi su cloud o server aziendali. Questi dati possono essere utilizzati da algoritmi di intelligenza artificiale (AI) per:

- ottimizzare le strategie di pulizia in base ai materiali rilevati,
- prevedere guasti meccanici,
- elaborare report automatici di intervento.

L'integrazione di queste tecnologie permette una gestione remota evoluta, in grado non solo di migliorare l'efficienza operativa e la sicurezza, ma anche di garantire compliance normativa e valorizzazione dei dati nei processi decisionali aziendali.

Questa evoluzione tecnologica relativa ai robot, tuttavia, non può prescindere da una parallela innovazione anche dell'ambiente di lavoro. Così come avviene nell'ambito domestico, dove possiamo controllare da remoto numerose funzionalità della casa, è necessario che per una gestione realmente autonoma del robot, anche l'ambiente dove si trova a lavorare il robot sia digitalizzato. Solo, infatti, grazie a sensori montati su pipeline, pareti, condotte, ecc. è possibile realizzare interventi di bonifica realmente "no-man entry". Questo comporta che i produttori di tecnologie robotiche possano realizzare macchinari che siano in grado di dialogare con l'ambiente esterno, ma che questo ambiente esterno sia in grado di offrire un contesto robot-friendly.

6. REFERENZE (in ordine alfabetico)

- [1] “Explosion Safety” White Paper – Sprint Robotics
- [2] “Research on the oil tank sludge cleaning robot system” 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering.
- [3] INAIL, 2020, “Ambienti confinati e/o sospetti di inquinamento e assimilabili. Aspetti legislativi e caratterizzazione”.
- [4] Punto Sicuro, Anno 16 – Numero 3304, 24 Aprile 2014, “Spazi confinati: la riduzione degli accessi e l’uso di robot”.
- [5] Processes, 11 May 2020, “Applied Cleaning Methods of oil Residues from industrial Tanks”
- [6] “Manuale per l’applicazione delle direttive Atex”, EPC editori, Giugno 2021.
- [7] EN ISO 12100:2010 Safety of machinery - General principles for design – Risk assessment and risk reduction.
- [8] EN ISO 13857:2008 Safety of machinery-Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs.
- [9] EN ISO 13849-1:2015 Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems -- Part 1: General principles for design.
- [10] EN 349: 2008 Safety of machinery-Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body.
- [11] EN 474-1: 2013 Earth-moving machinery – Safety-Part 1: General requirements.
- [12] EN 14120: 2015 Safety of Machinery - Protections - General requirements for the design and construction of fixed and movable guards.
- [13] EN ISO 4413:2010 Hydraulics - Safety requirements for fluid power systems and their components.
- [14] Direttiva Macchine 2006/42/EC
- [15] Direttiva ATEX 2014/34/UE
- [16] UNI EN 91829 1:2021
- [17] Linee Guida Nazionali per la videoispezione e codifica condizioni reti fognarie
<https://www.associazioneaspi.it/linee-guida-e-manuali/manuali-videoispezione-reti-fognarie-ed-idriche/>
- [18] Norme sul lavoro subacqueo
https://www.uni.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1278&Itemid=546&lang=it
- [19] Regolamento (UE) n. 305/2011 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 9 marzo 2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio Testo rilevante ai fini del SEE
- [20] Decreto Legislativo N. 152 del 3 aprile 2006 (G.U. n.88 del 14 aprile 2006) Norme in materia ambientale.
- [21] <https://www.certifico.com/ambiente/documenti-ambiente/257-documenti-riservati-ambiente/5869-bonifica-serbatoi-interrati-la-situazione-normativa>
- [22] Bonifiche spazi confinati DPR 177/2011 <https://www.certifico.com/sicurezza-lavoro/legislazione-sicurezza/70-decreti-sicurezza-lavoro/3773-d-p-r-14-settembre-2011-n-177>
- [23] Sicurezza progettazione Robot ISO 10218-a e loro integrazione in un ambiente di lavoro (ISO 10218-2)
- [24] API Standard 653, *Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction*.
- [25] Decreto Legislativo 12 giugno 2003 n. 233 (Direttiva 1999/92/CE)
- [26] Decreto del Presidente della Repubblica, 23 marzo 1998 n. 126 (Direttiva 1994/9/CE)
- [27] ‘Sistema di sorveglianza degli infortuni mortali sul lavoro’. [Online]. Disponibile: <https://www.inail.it/content/dam/inail-hub-site/documenti/2017/06/Scheda11-InforMO.pdf>.
- [28] UNI/PdR 97:2020 “Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrato a basso impatto ambientale - Sistemi ad aspirazione pneumatica” - UNI Ente Italiano di Normazione’. Accesso: Feb. 26, 2025. [Online]. Disponibile su: <https://store.uni.com/uni-pdr-97-2020>.