

UNI/PdR xx:2025	Manutenzione e aspirazione materiali a basso impatto ambientale in spazi confinati e a rischio esplosione – tecnologie robotiche no-man entry
Sommario	<p>La presente prassi di riferimento fornisce una descrizione delle pratiche di utilizzo delle tecnologie robotiche per rimuovere materiale e rifiuti all'interno di cantieri e impianti industriali oltre che ispezionare, monitorare e riparare condotte e cisterne. La presente prassi è destinata a tutti i soggetti che operano in questi settori, siano essi progettisti, enti di gestione, società multiutility, proprietari di impianti, operatori, contractors, responsabili manutenzione, industrial cleaning manager, responsabili sicurezza e HSE.</p> <p>La presente prassi ha, inoltre, lo scopo di fornire indicazioni per una corretta scelta della tecnologia robotica più adeguata secondo le prestazioni raggiungibili, le caratteristiche ambientali, le analisi chimico-fisiche delle sostanze da rimuovere, le condizioni tecniche e logistiche al contorno, con particolare riguardo alle implicazioni specifiche alla sicurezza che i minirobot devono garantire.</p>
Data	10/03/2025

Avvertenza

Il presente documento è un progetto di Prassi di Riferimento (UNI/PdR) sottoposta alla fase di consultazione, da utilizzare solo ed esclusivamente per fini informativi e per la formulazione di commenti.

Il processo di elaborazione delle Prassi di Riferimento prevede che i progetti vengano sottoposti alla consultazione sul sito web UNI per raccogliere i commenti del mercato: la UNI/PdR definitiva potrebbe quindi presentare differenze rispetto al documento messo in consultazione.

Questo documento perde qualsiasi valore al termine della consultazione, cioè il: 11 aprile 2025

UNI non è responsabile delle conseguenze che possono derivare dall'uso improprio del testo dei progetti di Prassi di Riferimento in consultazione.

PREMESSA

La presente prassi di riferimento UNI/PdR xx:2025 non è una norma nazionale, ma è un documento pubblicato da UNI, come previsto dal Regolamento UE n.1025/2012, che raccoglie prescrizioni relative a prassi condivise all'interno dei seguenti soggetti firmatari di un accordo di collaborazione con UNI:

IATT (Italian Association for Trenchless Technology)

*Via Ruggero Fiore, 41
00136 Roma*

UNINDUSTRIA - Unione degli Industriali e delle Imprese di Roma, Frosinone, Latina, Rieti e Viterbo

*Via Andrea Noale, 206
00155 Roma*

La presente prassi di riferimento è stata elaborata dal Tavolo “No man entry” condotto da UNI, costituito dai seguenti esperti:

Nome Cognome 1 – Project Leader (organizzazione xyz)

Nome Cognome 2 (organizzazione xyz)

Nome Cognome 3 (organizzazione xyz)

La presente prassi di riferimento è stata ratificata dal Presidente dell'UNI il xx xxxx 2025.

Le prassi di riferimento, adottate esclusivamente in ambito nazionale, rientrano fra i “prodotti della normazione europea”, come previsti dal Regolamento UE n.1025/2012, e sono documenti che introducono prescrizioni tecniche, elaborati sulla base di un rapido processo ristretto ai soli autori, sotto la conduzione operativa di UNI.

Le prassi di riferimento sono disponibili per un periodo non superiore a 5 anni, tempo massimo dalla loro pubblicazione entro il quale possono essere trasformate in un documento normativo (UNI, UNI/TS, UNI/TR) oppure devono essere ritirate.

Chiunque ritenesse, a seguito dell'applicazione della presente prassi di riferimento, di poter fornire suggerimenti per un suo miglioramento è pregato di inviare i propri contributi all'UNI, Ente Italiano di Normazione, che li terrà in considerazione.

SOMMARIO

INTRODUZIONE	5
1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	10
2 RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI.....	12
3 TERMINI E DEFINIZIONI	13
4 PRINCIPIO	14
5 AREE DI INTERVENTO CON TECNOLOGIE ROBOTICHE	15
5.1 ATTIVITÀ DI BONIFICA IN SPAZI CONFINATI, ATEX E IECEX.....	15
5.2 ATTIVITÀ DI MOVIMENTAZIONE DI MATERIALE	16
5.3 ATTIVITÀ DI VIDEO ISPEZIONE	16
5.4 ATTIVITÀ DI FRESATURA CON CUTTER TELEGUIDATO.....	17
5.5 ATTIVITÀ DI DEMOLIZIONE.....	17
5.6 ATTIVITÀ DI IDRO-DEMOLIZIONE.....	18
5.7 ATTIVITÀ CON ACQUA IN ALTA PRESSIONE.....	19
5.7.1 FOGNATURE	20
5.7.2 PREPARAZIONI DELLE SUPERFICI	20
5.7.3 PULIZIE INDUSTRIALI	21
5.7.4 TAGLI A FREDDO	21
5.8 ATTIVITÀ SUBACQUEE.....	22
5.9 ATTIVITÀ IN PRESENZA DI TEMPERATURE ELEVATE	23
5.10 ATTIVITÀ PULIZIA CONDOTTE TRAMITE DECOKING.....	24
5.11 ATTIVITÀ TAGLIO RADICI CONDOTTE ACQUE BIANCHE.....	25
6 TECNOLOGIE ROBOTICHE	25
6.1 GENERALITÀ	25
6.2 ROBOT IDRAULICI.....	29
6.3 ROBOT PNEUMATICI	29
6.4 ROBOT ELETTRICI	30

7	INDAGINI PRELIMINARI	30
7.1	GENERALITÀ	30
7.2	PIANO DI INDAGINE PRELIMINARE DELL'AMBIENTE OPERATIVO	30
7.3	INDAGINI AMBIENTALI AL CONTORNO	31
7.4	INDAGINI SUI MATERIALI DA RIMUOVERE.....	31
8	CONFIGURAZIONI DELLE TECNOLOGIE ROBOTICHE.....	32
8.1	GENERALITÀ	32
8.2	ALLESTIMENTO CANTIERE STANDARD.....	32
8.3	ALLESTIMENTO CANTIERE ATEX.....	38
9	CARATTERISTICHE DELLE TUBAZIONI UTILIZZATE	39
9.1	IDENTIFICAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TUBI.....	39
9.2	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MECCANICHE DEI TUBI	39
9.3	CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL MATERIALE DI COSTRUZIONE DEI TUBI	39
9.4	OMBELICALI	43
9.5	CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI GIUNZIONE.....	44
10	ATTREZZATURE ACCESSORIE	45
11	SICUREZZA E SOSTENIBILITÀ	50
	BIBLIOGRAFIA.....	52

INTRODUZIONE

Con il termine “tecnologie robotiche di aspirazione e manutenzione” si intende una serie di tecnologie e di tecniche che permettono di scavare, pulire, bonificare, risanare e ispezionare ambienti di difficile accesso come spazi confinati oppure aree dove l’accesso all’uomo è interdetto per motivi di sicurezza.

Queste tipologie di intervento possono essere impiegate presso numerose realtà industriali quali in via esemplificativa:

acciaierie, fonderie, raffinerie, stabilimenti chimici e petrolchimici, cementifici, industrie di produzione alluminio, industrie del vetro, cantieri edili, cartiere, cantieri navali, porti, magazzini e depositi di cereali, centrali termoelettriche, impianti trattamento acque, discariche, impianti produzione biogas, industrie di trasformazione della calce e del carbone, docks, industrie per la lavorazione dei metalli, e molto altro.

Ogni tipologia di robot contribuisce a ottimizzare la sicurezza delle attività di cantiere, nei contesti in cui viene applicata. Infatti, la possibilità di sostituire la presenza di persone con macchine robotizzate all’interno di contesti ad alto rischio, consente di spostare gli operatori al di fuori della “linea di pericolo” quindi aumentare la sicurezza del cantiere. L’insieme di queste tecnologie sono riconosciute dagli addetti ai lavori con il termine “no-man entry” oppure “unmanned entry”. I dati infortunistici di Inail riferiti alle attività in spazi confinati confermano che il numero di infortunati è molto alto in rapporto agli eventi¹, quindi l’implementazione di tecnologie robotiche è un fattore chiave per ridurre l’incidenza.

Le tecnologie robotiche si inseriscono nel più ampio insieme delle “tecnologie senza trincea”, o “senza scavo”, cioè di quei sistemi e tecniche che permettono il risanamento e la bonifica degli ambienti con un limitato o nullo ricorso agli scavi a cielo aperto.

In ambito internazionale queste tecnologie vengono raggruppate in cinque macro-famiglie:

- tecnologie per indagini conoscitive;
- tecnologie di perforazione orizzontale guidata;
- tecnologie di perforazione orizzontale non guidata;
- tecnologie per il riutilizzo o sfruttamento di infrastrutture esistenti;
- tecnologie associate (delle quali fanno parte le tecnologie di aspirazione pneumatica a mezzo escavatore a risucchio o pompa del vuoto e i robot).

I minirobot o Remotely Operated Vehicle (ROV) sono macchine robotizzate e controllabili da remoto che – unite a unità di aspirazione esterna (autospurghi o escavatori a risucchio)² o dotate di pompe montate a bordo o pompe esterne (pompe volumetriche, a lobi, da dragaggio, ecc.)³ – permettono di

¹ “Ambienti confinati e/o sospetti di inquinamento e assimilabili – Aspetti legislativi e caratterizzazione”, INAIL, 2020.

² Il funzionamento e l’impiego di escavatori a risucchio e di autospurghi sono esposti nella UNI/PdR 97:2020 “Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrato a basso impatto ambientale – Sistemi ad aspirazione pneumatica”.

³ Si rimanda alle norme relative alle pompe: UNI EN ISO 16330:2004 “Pompe volumetriche alternative - Requisiti tecnici”; UNI EN ISO 13710:2005 “Industrie del petrolio, petrolchimiche e del gas naturale - Pompe volumetriche alternative”; UNI EN ISO 14847:1999 “Pompe volumetriche rotative - Requisiti tecnici”; UNI EN ISO 14847:1999 “Pompe volumetriche rotative - Requisiti tecnici”;

aspirare, pompare o trasportare i materiali e detriti depositati all'interno di spazi confinati, vasche e condotte, anche in ambienti con atmosfere a rischio di esplosione (ATEX).

In base alla funzione e applicazione, si possono distinguere diverse tipologie di robot nelle figure seguenti:

Figura 1 – Robot per Aspirazione



Figura 2 – Robot per Zone ATEX/Iecex



Figura 3 – Robot con pompa a bordo



Figura 4 – Robot per scavo



Figura 5 – Robot per movimentazione materiale

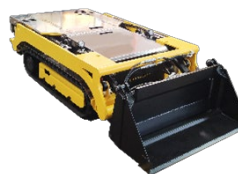


Figura 6 – Robot subacquei



Figura 7 – Robot per videoispezioni



Figura 8 – Robot per fresatura e lavorazione superfici



Figura 9 – Robot per pulizia superfici



I robot possono essere equipaggiati con accessori di diverse tipologie (telecamere, sensori di gas, ugelli ad alta pressione, misuratori di spessore, sonar, teste fresanti, spatole, ecc.) che permettono di usare queste macchine anche per eseguire operazioni di video-ispezione, reporting sullo stato di conservazione di pipeline e cisterne, lavaggio ad alta pressione, idro demolizione.

Con il termine “aspirazione” si intende, in ambito edilizio, quella particolare attività di manutenzione (scavo) che prevede una rimozione di materiali particolarmente gravosa se effettuata con mezzi tradizionali - creazione di cavità, fori, prescavi, rimozione macerie – e implementata in luoghi difficilmente accessibili; in ambito industriale, “aspirazione” si riferisce all’attività di rimozione di materiali all’interno dei grandi impianti produttivi in fase di fermata programmata o durante interventi di emergenza in esercizio. L’aspirazione prevede che il robot funga da periferica di un sistema di aspirazione (autospurgo o escavatore a risucchio) dislocato in una zona adeguatamente e sufficientemente distante dal punto di aspirazione. Si distinguono in:

- aspirazione pneumatica, quando i materiali liquidi, solidi o fangosi sono rimossi utilizzando la tecnologia a turbine, basata su un flusso d’aria in aspirazione; questa tecnologia prevede che il flusso d’aria stessa costituisca il vettore attraverso il quale il materiale è convogliato all’interno della cassa di contenimento (aria e materiale condividono il volume utile all’interno del tubo, in questo caso);
- aspirazione sottovuoto, quando i materiali liquidi o fangosi vengono rimossi tramite la tecnologia denominata “pompa del vuoto”; in questo caso il tubo può essere completamente immerso all’interno del materiale da rimuovere poiché le pompe del vuoto generano una depressione tale da attirarlo all’interno della cassa di contenimento.

Con il termine “pompaggio”, nell’ambito delle operazioni di pulizia industriale, si intende invece un’operazione di trasporto di un fluido o di materiale umido attraverso pompe idrauliche o volumetriche, a lobi, monovite, ecc. Si possono distinguere due tipologie di tecnologie robotiche di pompaggio:

- robot con pompa a bordo (volumetrica, a lobi, monovite, per dragaggio). In questo caso il punto di aspirazione posto vicino all’unità di pompaggio o pompa; quindi, la distanza da punto di aspirazione del materiale e pompa è minore della distanza fra la mandata della pompa e il punto di scarico del materiale;
- robot con pompa esterna (monovite). In questo caso il punto di aspirazione è distante dall’unità di pompaggio; quindi, la distanza dal punto di aspirazione del materiale e pompa è maggiore della distanza fra la mandata della pompa e il punto di scarico del materiale.

In base alla tipologia di pompe da impiegare, al contesto operativo e al tipo di materiale da pompare, esistono degli indicatori di produttività delle pompe che sono sintetizzati nel seguente prospetto:

Prospetto 1 - caratteristiche e produttività delle pompe

PRODUTTIVITÀ POMPE												
		Materiale Pompato	Auto-adescente	Resistente a usura	Diametro Corpi Solidi	Capacità di Aspirazione	Pressione Nominale	Portata Nominale	Diam. Tubo	Idoneità ATEX		
					[mm]	[bar]	[bar]	[l/min]	[mm]	Zona 0	Zona 1	Zona 2
MONOVITE	4"	Fanghi Densi	SI	SI	19	-0,5	5	580	100	NO	SI	SI
	2"-1/2"	Fanghi Densi	SI	SI	12	-0,5	5	160	63	SI	SI	SI
LOBI	4"	Fanghi Soffici	SI	NO	4	-0,3	5	800	100	NO	SI	SI
	3"	Fanghi Soffici	SI	NO	4	-0,3	5	400	80	NO	SI	SI
DRAGAGGIO	4"	Acque sabbiose	NO	SI	25	-0,1	30	1600	100	NO	NO	NO
	3"	Acque sabbiose	NO	SI	20	-0,1	20	800	80	NO	NO	NO
CENTRIFUGA	4"	Acque cariche	NO	NO	50	-0,1	25	2000	100	NO	NO	NO
	3"	Acque cariche	NO	NO	50	-0,1	20	800	80	NO	SI	SI

Con il termine “trasporto” di materiale si intende l’attività di spostamento da un punto ad un altro di materiale, senza che venga aspirato o pompato; tipicamente questa attività è simile a quella compiuta, in edilizia, dagli escavatori tradizionali o, manualmente, dall’uso di pale.

La rimozione di materiali all’interno delle cisterne di stoccaggio o degli impianti è un’attività di manutenzione necessaria per preservare l’integrità e la continuità operativa degli impianti (raffinerie, terminals all’interno di aree portuali, ecc.). La presenza di sedimenti liquidi o solidi, infatti, compromette la regolare operatività degli impianti, la capienza effettiva delle cisterne, la funzionalità di condotte e tubature. Storicamente queste attività di manutenzione sono sempre state fatte attraverso l’impiego di manodopera specializzata, prevedendo importanti operazioni di smantellamento di strutture. Questo approccio comporta un elevato rischio per le persone che, pur essendo equipaggiate con adeguati dispositivi di sicurezza (DPI), devono operare in contesti pericolosi. Inoltre, le varie normative relative ai metodi e alle procedure di sicurezza per lavorare in

spazi confinati obbligano che il personale impiegato sia in sovrannumero adeguato a garantire le operazioni di soccorso adeguate in caso si verificano malori o incidenti. Le disposizioni di sicurezza in attività di questo con l'impiego di persone sono ampiamente regolamentate da una ampia legislazione vigente alla quale si fa rinvio per approfondimenti⁴.

I ROV sono soluzioni alternative che, grazie alla capacità di entrare all'interno di spazi di difficile accesso o pericolosi e di essere collegati a un'unità di aspirazione remota (autospurgo o escavatore a risucchio) o con le pompe (a bordo o esterne), consentono una pulizia senza la necessità di ingresso di operatori – quindi eliminando i tempi e i costi di degassificazione degli ambienti - e senza il bisogno di inertizzare gli spazi tramite azoto, riducendo drasticamente i rischi di incidente agli operatori.

Queste soluzioni hanno avuto un impulso iniziale negli anni 2000, anno di nascita della legislazione vigente europea che regola i prodotti e i processi nelle aree a rischio esplosione⁵ che ha portato un elemento di novità, nell'ambito delle macchine adibite a uso in ambienti esplosivi, perché ha esteso la regolamentazione ai componenti meccanici oltre che a quelli elettrici. Questo impulso al settore dato dalla certificazione ATEX, rivolto principalmente ai prodotti, ha incrociato – sempre nei primi anni 2000 – la diffusione a tutti i livelli del crescente dibattito pubblico sui temi legati alla sicurezza delle persone e, nell'ambito degli impianti industriali, i cantieri civili e le raffinerie, a una sempre più elevata attenzione alle procedure, alle metodologie e alle precauzioni per tenere le persone fuori dalla “linea del fuoco”.

La presente UNI/PdR si pone l'obiettivo di fornire elementi utili sulla costruzione di tecnologie robotiche oltre che quello di standardizzarne l'utilizzo, allo scopo di consentirne l'implementazione all'interno di futuri capitolati di gara a tutto beneficio della sicurezza nei cantieri e nei progetti in campo industriale ed edile.

⁴ Decreto del Presidente della Repubblica 177/2011 “Regolamento recante norme per la qualificazione delle imprese e dei lavoratori autonomi operanti in ambienti sospetti di inquinamento o confinanti, a norma dell'articolo 6, comma 8, lettera g), del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81.”;

“Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro” (D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81); UNI ISO 45001:2018

“Sistemi di gestione per la salute e sicurezza sul lavoro – Requisiti e guida per l'uso.”; Direttiva Atex 99/92/CE.

⁵ La prima norma in materia è la Direttiva 94/9/CE che è stata poi revisionata ed è confluita nella direttiva 2014/34/UE “Concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva”. Dal Direttiva 2014/34/UE è comunemente definita “direttiva per le apparecchiature” ed è strettamente legata alla Direttiva 1999/92/CE, dedicata ai luoghi di lavoro.

1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente prassi di riferimento fornisce una descrizione delle pratiche di utilizzo delle tecnologie robotiche per rimuovere materiale e rifiuti all'interno di cantieri e impianti industriali oltre che ispezionare, monitorare e riparare condotte e cisterne. La prassi è destinata a tutti i soggetti che operano in questi settori, siano essi progettisti, enti di gestione, società multiutility, proprietari di impianti, operatori, contractors, responsabili manutenzione, industrial cleaning manager, responsabili sicurezza e HSE.

La UNI/PdR ha lo scopo di fornire indicazioni per una corretta scelta della tecnologia robotica più adeguata secondo le prestazioni raggiungibili, le caratteristiche ambientali, le analisi chimico-fisiche delle sostanze da rimuovere, le condizioni tecniche e logistiche al contorno, con particolare riguardo alle implicazioni specifiche alla sicurezza che i minirobot devono garantire.

Il prospetto 2 di seguito riassume le principali aree di intervento alle quali le tecnologie robotiche possono essere applicate, con l'obiettivo di descriverne sinteticamente i singoli contesti operativi e dar modo agli operatori di valutare l'opportunità di risolvere le problematiche incontrate, grazie all'impiego delle stesse. Nel prospetto si trovano collocate diverse applicazioni suscettibili di essere gestite tramite l'aspirazione e il pompaggio. Grazie, inoltre, a specifici accessori, utensili e sensori – come trivelle, teste fresanti, bracci attuatori, spazzole, ugelli, idranti, tergipavimenti, telecamere subacquee, sensori gas, videocamere Atex, inclinometri, ecc – i robot possono contribuire ad asportare materiali di diversi tipi (solidi, liquidi, fangosi) e in contesti applicativi particolarmente difficili.

La griglia costituisce un primo schematico indirizzamento dell'utilizzatore verso i possibili campi di applicazione delle tecnologie robotiche per l'aspirazione pneumatica di materiale (tramite turbine, "pompa del vuoto" o pompe volumetriche), la videoispezione, il lavaggio e la preparazione di superfici.

Prospetto 2 - Matrice delle applicazioni delle tecnologie robotiche

Tipologia di intervento	Industrie	Materiali	Ambienti di lavoro	Aspirazione	Robot	Funzione
Spazi confinati	- Raffinerie - terminal portuali - Industria farmaceutica - Industria alimentare - Industria chimica.	- Morchie - polveri - ceneri	- serbatoi di stoccaggio - cisterne interrato, - vasche, - silos - ambienti ATEX, - canalizzazioni fognature, pipeline.	- Aspirazione pneumatica. - aspirazione sottovuoto. - Pompaggio.	Robot idraulico. Robot Pneumatico.	Scavi e prescavi aspirazione dal basso aspirazione dall'alto pompaggio
Movimentazione materiale	- Raffinerie - terminal portuali - Industria farmaceutica - Industria alimentare - Industria chimica. - Edilizia	- Morchie - polveri - ceneri - macerie	Vasche di depurazione Bacini di laminazione Botti a sifone Nastri trasportatori Torri di lavaggio Scambiatori di calore Pipelines Digestori Anaerobici Catalizzatori Terreni contaminati	- Aspirazione pneumatica. - aspirazione sottovuoto. - Pompaggio.	Robot idraulico. Robot Pneumatico. Robot Elettrico	Scavi e prescavi aspirazione dal basso aspirazione dall'alto pompaggio
Video ispezione	- Raffinerie - terminal portuali - Industria farmaceutica - Industria alimentare - Industria chimica.	-	Pipeline condotte fognarie cisterne	-	Robot idraulico. Robot Pneumatico. Robot Elettrico	Reportistica pre e post intervento
Fresatura con cutter teleguidato	Edilizia Civile Edilizia Industriale Infrastrutture	Calcestruzzo Plastiche	Pipeline condotte fognarie cisterne		Robot idraulico. Robot Pneumatico. Robot Elettrico	Ripristino aperture Eliminazione difetti
Demolizione	Edilizia Civile Edilizia Industriale Infrastrutture	Macerie e detriti Cemento Rocce da scavo	Ristrutturazioni Decommissioning Cantieri edili	Aspirazione Pneumatica	Robot idraulico. Robot Pneumatico. Robot Elettrico	Aspirazione elementi solidi Aspirazioni sabbie Scavi e prescavi
Idrodemolizione	Edilizia Civile Edilizia Industriale Infrastrutture	macerie e detriti	Ristrutturazioni Decommissioning Cantieri edili	-	Robot idraulico. Robot Pneumatico. Robot Elettrico	Aspirazione elementi solidi Aspirazione sabbie Scavi e prescavi
Acqua alta pressione	- Raffinerie - terminal portuali - Industria farmaceutica - Industria alimentare - Industria chimica.	morchie calcificazioni incrostazioni oli/grassi	Cisterne interrato serbatoi di stoccaggio condotte fognarie scambiatori di calore	-	Robot idraulico. Robot Pneumatico. Robot Elettrico	Pulizia serbatoi lavaggio e preparazione superfici
Attività Subacquee	Servizio idrico integrato Acciaierie Industria	- sabbie - fanghi	vasche raccolta reflui fangosi industriali; vasche di raccolta acque di tempra in acciaierie; torri di raffreddamento; serbatoi di stoccaggio acque fuori terra; tubature interrato di grande diametro;	- Aspirazione pneumatica. - aspirazione sottovuoto. - Pompaggio.	Robot idraulico. Robot Pneumatico. Robot Elettrico	Rimozione Sabbie Rimozione fondami
Alte Temperature	Acciaierie Raffinerie Vetriere Cementifici Industrie refrattari	Polveri Ceneri Fuliggine Solfati Materiali refrattari	Forni di cottura	- Aspirazione pneumatica. - aspirazione sottovuoto.	Robot idraulico. Robot Pneumatico.	Rimozione polveri Refrattari
Taglio Apparati Radicali	Edilizia Civile Edilizia Industriale Infrastrutture	Apparati radicali	Pipeline condotte fognarie		Robot idraulico. Robot Pneumatico. Robot Elettrico	Ripristino aperture Eliminazione difetti

2 RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI

La presente prassi di riferimento rimanda, mediante riferimenti datati e non, a disposizioni contenute in altre pubblicazioni. Tali riferimenti normativi e legislativi sono citati nei punti appropriati del testo e sono di seguito elencati. Per quanto riguarda i riferimenti datati, successive modifiche o revisioni apportate a dette pubblicazioni valgono unicamente se introdotte nel presente documento come aggiornamento o revisione. Per i riferimenti non datati vale l'ultima edizione della pubblicazione alla quale si fa riferimento.

UNI EN ISO 14847:1999 - *Pompe volumetriche rotative - Requisiti tecnici*

UNI EN ISO 16330:2004 - *Pompe volumetriche alternative - Requisiti tecnici*

UNI EN ISO 13710:2005 - *Industrie del petrolio, petrolchimiche e del gas naturale - Pompe volumetriche alternative*

UNI ISO 45001:2018 - *Sistemi di gestione per la salute e sicurezza sul lavoro – Requisiti e guida per l'uso*

UNI 11958:2024 - *Ambienti confinati e/o sospetti di inquinamento – Criteri per l'identificazione dei pericoli e la valutazione dei rischi*

UNI/PdR 7:2014 - *Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrate a basso impatto ambientale: sistemi di minitrincea*

UNI/PdR 26.01:2017 - *Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrate a basso impatto ambientale – Sistemi per la localizzazione e mappatura delle infrastrutture nel sottosuolo*

UNI/PdR 26.02:2017 - *Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrate a basso impatto ambientale – Posa di tubazioni a spinta mediante perforazioni orizzontali*

UNI/PdR 26.03:2017 - *Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrate a basso impatto ambientale – Sistemi di perforazione guidata: Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC)*

UNI/ PdR 37:2018 - *Risanamento senza scavo di tubazioni sotterranee rigide per acqua potabile mediante rivestimento con malte cementizie o resine*

Direttiva Atex 99/92/CE

Direttiva 2014/34/UE "Concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva"⁶.

Decreto del Presidente della Repubblica 177/2011 "Regolamento recante norme per la qualificazione delle imprese e dei lavoratori autonomi operanti in ambienti sospetti di inquinamento o confinanti, a norma dell'articolo 6, comma 8, lettera g), del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81

⁶ La Direttiva 2014/34/UE è comunemente definita "direttiva per le apparecchiature" ed è strettamente legata alla Direttiva 1999/92/CE, dedicata ai luoghi di lavoro

Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro - D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81

D.lgs. n. 152/2006

D.lgs. n. 81/2008

D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380

Guide about the use of automation in industrial cleaning", EWJI, ISBN 978-84-18761-76-8, March 2022

Organizzazione Internazionale del lavoro (ILO) [C155 - Convenzione sulla salute e la sicurezza dei lavoratori, 1981](#)

Organizzazione Internazionale del lavoro (ILO) C170 - Convenzione sui prodotti chimici, 1990

Organizzazione Internazionale del lavoro (ILO) C174 - Convenzione sulla prevenzione degli incidenti industriali maggiori, 1993

3 TERMINI E DEFINIZIONI

Ai fini del presente documento valgono i termini e le definizioni seguenti:

- 3.1 aspirazione:** Attività che prevede lo spostamento di materiale tramite tecnologie che utilizzano l'aria come vettore (escavatori a risucchio) oppure le pompe del vuoto (autospurghi).
- 3.2 aspirazione pneumatica:** Sistema di aspirazione che utilizza l'aria come vettore per aspirare il materiale. La corrente d'aria è generata da una o più turbine che creano il vortice d'aria necessario a rimuovere i materiali.
- 3.3 aspirazione sottovuoto:** Sistema di aspirazione che utilizza una pompa per creare il vuoto e, attraverso questa depressione, aspirare il materiale all'interno di una tubazione.
- 3.4 atmosfera esplosiva (ATEX):** Miscela con aria, di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore, nebbia o polvere, in condizioni atmosferiche, in cui, dopo l'accensione, la combustione si propaga a tutta la miscela incombusta⁷.
- 3.5 autospurgo:** Veicolo allestito con sistema di "aspirazione sottovuoto" e cisterna ribaltabile ed apribile, progettato per eseguire lavori di aspirazione in varie condizioni in base alle specifiche caratteristiche e agli specifici dettagli dell'allestimento con tecnologia basata su pompa del vuoto.
- 3.6 escavatore a risucchio:** Veicolo allestito con sistema di "aspirazione pneumatica" e cassone ribaltabile, progettato per eseguire lavori di aspirazione pneumatica in varie condizioni in base alle specifiche caratteristiche e agli specifici dettagli dell'allestimento con tecnologia basata su sistema a turbine.
- 3.7 ombelicale:** Fascio di tubature e cavi elettrici che collega il robot con l'unità di comando. L'ombelicale permette di controllare tutti i movimenti meccanici della macchina

⁷ Il lavoro e l'uso di macchinari all'interno di zone a rischio esplosione sono regolamentati dalla Direttiva Atex 2014/34/UE.

(avanzamento/sterzata; movimenti verticali e laterali degli accessori frontali o di bracci meccanici) e di alimentare componenti elettriche (telecamere, luci, sensori, ecc.).

- 3.8 pompaggio:** Attività di aspirazione ed emissione attraverso pompe – a bordo del robot oppure esterne al robot – che utilizzano organi meccanici per trasferire il materiale da un punto di prelievo a un punto di emissione. Possono essere pompe volumetriche o centrifughe, con esecuzioni specifiche in caso di immersione.
- 3.9 radiocomando:** Dispositivo elettronico dotato di comandi e regolazioni utilizzato per governare le funzioni del robot.
- 3.10 robot mini-escavatore:** Tipo di macchina comandabile da remoto (a vista o tramite sistemi di radio comando) che può essere cingolata o gommata, e può svolgere funzioni diverse (aspirazione, movimentazione, videoispezione, risanamento superfici) in base alla tipologia di cantiere. Può essere collegata a un'unità di aspirazione pneumatica o lavorare con una pompa a bordo o esterna. I robot possono essere idraulici, pneumatici, elettrici.
- Nota 1 La possibilità di montare tubi di aspirazione e vari accessori consente di operare all'interno di spazi confinati o in ambienti ATEX.
- 3.11 spazi confinati:** Luoghi chiusi in cui normalmente non è previsto l'ingresso dell'uomo ma che comunque presentano vie d'accesso che, se pur estremamente limitate, rendono possibile il passaggio di una persona in caso di interventi straordinari.
- 3.12 tubo di aspirazione:** Tubazione in materiale plastico o gommoso, rigida o morbida in varie sezioni e lunghezze che collega il robot con un escavatore a risucchio o un autosurgo.
- 3.13 ugello:** Dispositivo che eroga acqua o altri liquidi ad alta pressione. Montato nella parte frontale del robot, questo accessorio permette di disgregare, lavare e fluidificare materiali calcificati o superfici. Può essere fisso oppure orientabile. Si distinguono due categorie: ugelli ad alta pressione/bassa portata oppure ugelli a bassa pressione/alta portata.
- 3.14 unità di controllo:** Sistema integrato composto da monitor, distributori idraulici o radiocomandi per comandare e monitorare da remoto tutti i movimenti e le funzionalità dei robot. L'unità può essere allestita all'interno di container, van, trailer oppure su strutture mobili (skid).
- 3.15 unità di potenza:** Sistema di alimentazione dei robot attraverso motori endotermici, elettrici o a batterie. L'unità può essere allestita all'interno di container, van o trailer oppure su strutture autoportanti e movimentabili.
- 3.16 videoispezione:** Attività di monitoraggio di condotte o spazi confinati attraverso sistemi con video a circuito chiuso (CCTV). La videoispezione è funzionale sia al controllo da remoto della movimentazione dei robot sia per attività di documentazione filmata degli interventi di manutenzione.

4 PRINCIPIO

La tecnologia robotica di aspirazione e manutenzione (attraverso aspirazione pneumatica o pompaggio) è utilizzabile in numerosi ambiti e settori di impiego tra i quali la manutenzione dei depuratori e dei digestori anaerobici, lo svuotamento di vasche, cisterne e silos, lo svuotamento di pozzi e cavità profonde anche oltre i trenta metri, la bonifica di serbatoi di idrocarburi, le manutenzioni degli impianti petrolchimici e delle raffinerie, le lavorazioni su grandi condotte, canali e gallerie, le manutenzioni nel campo dell'industria pesante come nel caso dei cementifici e delle fonderie, le

lavorazioni nel settore alimentare e in quello chimico, le pulizie industriali all'interno dei magazzini portuali ed il trasbordo delle navi cisterna contenenti granaglie, il lavaggio di grandi superfici industriali in alta pressione, la manutenzione degli apparati radicali, i lavori su siti archeologici o di interesse artistico, le attività manutentive di tratti ferroviari e gli interventi in emergenza su convogli bloccati da svuotare o bonificare, i lavori in presenza di amianto e altre sostanze contaminanti, i lavori in ambienti ad alta temperatura, subacquei, gli scavi su condotte carburanti attive, la bonifica di condotte ostruite o propedeutica ad attività di rivestimento tubazioni.

L'impiego di questa tecnologia si inserisce in un contesto più ampio di integrazione fra uomo e macchina che riguarda tutto il mondo industriale dove il robot è utilizzato per svolgere funzioni od operazioni gravose, nocive o pericolose per l'essere umano. Lo sviluppo di tecnologie meccaniche, idrauliche, digitali e ingegneristiche sempre più evolute è un elemento chiave per garantire maggiore sicurezza, un efficientamento delle attività e un aumento della produttività nelle fasi di intervento. La possibilità di automatizzare, digitalizzare e controllare da remoto i robot implica un cambiamento e un aggiornamento anche del know-how degli operatori che devono avere competenze evolute per poter utilizzare e manovrare i minirobot ad aspirazione pneumatica.

5 AREE DI INTERVENTO CON TECNOLOGIE ROBOTICHE

5.1 ATTIVITÀ DI BONIFICA IN SPAZI CONFINATI, ATEX E IEC EX

Per la definizione di spazio confinato si rimanda alle norme vigenti⁸. Alcuni esempi di spazi confinati possono essere: silos e serbatoi di stoccaggio, cisterne, canalizzazioni e fognature, vasche (anche fuori terra), scavi profondi e non a sezione ristretta, ecc. devono essere distinte inoltre le aree con presenza o meno di atmosfera potenzialmente esplosiva, rappresentata dalla presenza di gas o polveri con caratteristiche di infiammabilità definite dalla legislazione europea e internazionale vigente alla quale si rimanda⁹. È possibile utilizzare delle tecnologie robotiche per sostituire o supportare le normali attività che vengono svolte in maniera manuale all'interno dello spazio confinato. Si rinvia al punto 8 della presente prassi per approfondimenti sui diversi allestimenti di cantiere.

Figura 10 – Robot per aspirazione



⁸ UNI 11958:2024 "Ambienti confinati e/o sospetti di inquinamento – Criteri per l'identificazione dei pericoli e la valutazione dei rischi."

⁹ Direttiva ATEX 2014/34/UE "Concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva". La direttiva ATEX è valida per l'Europa, mentre a livello internazionale esiste la certificazione IEC EX che segue gli standard definiti dall'International Electrotechnical Commission (IEC), in particolare gli standard della serie IEC 60079.

5.2 ATTIVITÀ DI MOVIMENTAZIONE DI MATERIALE

Le tecnologie robotiche possono essere utilizzate anche per movimentare materiale solido o palabile nei casi in cui l'accesso all'area (vasche, terreni sottostanti le tubature, condotte di grandi dimensioni, ecc.) sia interdetto alle persone.

I robot destinati a queste applicazioni possono:

- Spostare il materiale e al tempo stesso aspirarlo: in questo caso un accessorio frontale (per esempio una benna, una tramoggia di carico o altri accessori) portano il materiale a una bocca di aspirazione collocata nel sottocarro del robot. Il robot è quindi collegato a un autospurgo, nel caso di materiale melmoso, o a un escavatore a risucchio, nel caso di materiale secco come terra, macerie.
- Spostare il materiale senza aspirarlo; in questo caso l'accessorio frontale (benna, tramoggia di carico, ecc.) è usato traslare il materiale da un punto a un altro del cantiere oppure scaricarlo in un vano che può essere esterno al robot stesso oppure montato a bordo del robot.

Nel caso di operazioni in spazi particolarmente stretti (per esempio al di sotto di pipeline, nastri trasportatori o condotte a sezione ristretta rettangolare o quadrata), il robot potrà avere un assetto ribassato per permettere di entrare e muoversi su altezze fino a circa 60 [cm].

Figura 11 – Robot per spostamento di materiale



5.3 ATTIVITÀ DI VIDEO ISPEZIONE

La video ispezione è una tecnica esplorativa non invasiva che permette di esplorare dall'interno tubazioni, canali, intercapedini, ecc., permettendo di individuare eventuali criticità che potrebbero comportare il corretto funzionamento degli impianti, per poi poter procedere alle riparazioni puntuali o rimuovere le ostruzioni.

La video ispezione è effettuata grazie all'inserimento all'interno delle tubazioni, condotti o intercapedini, di una sonda dotata di telecamera rotante ad alta tecnologia, ad elevata risoluzione visiva, dotata di inclinometro e sistema di localizzazione in superficie. Con questa tecnica è possibile analizzare ogni tipo di tubazione, condotto o intercapedine – orizzontale o verticale – identificando anomalie, rotture, danneggiamenti che dall'esterno sarebbe impossibile riconoscere.

La telecamera, dotata anche di una fonte luminosa, riprende immagini a colori in alta definizione, che vengono inviate in superficie in tempo reale. Tali immagini, sia foto che video vengono memorizzate su un supporto informatico nel corso dell'ispezione, in maniera da poter essere esaminate più volte fino all'individuazione del problema ed essere consegnate al Committente in tempo reale.

In sintesi, le fasi di intervento sono:

- individuazione del punto di accesso (pozzetto, tappo d'ispezione, sfiato a tetto, botola, etc) a partire dal quale inserire la sonda;

- individuato il punto di accesso, si procede alla video ispezione vera e propria, facendo procedere a spinta, con carrello o con robot, la sonda nella tubazione, condotta o intercapedine, eseguendo un'accurata ispezione ed acquisendo un video a colori ad alta definizione. Eventuali punti che presentassero criticità (rotture, ostruzioni, sconnessioni, ecc..) vengono localizzati in superficie con l'impiego di un'apposita strumentazione di localizzazione;
- individuato il problema si può intervenire con procedure adeguate, tra cui le più frequenti sono lo spurgo e la riparazione mirata delle tubazioni dall'interno (tecnica chiamata *relining*)¹⁰.

I vantaggi di questa tecnica di esplorazione consistono nell'enorme precisione con cui è possibile intervenire per risolvere emergenze di varia natura. Questo comporta una riduzione dei danni collaterali (scavi, smantellamento di una porzione del manto stradale, eventuali interferenze con altri impianti, sottoservizi e condotte) e di conseguenza una notevole riduzione dei tempi di intervento. Entrambi questi fattori assicurano un consistente risparmio economico rispetto a interventi e riparazioni effettuati nei modi e nei tempi tradizionali. All'esito della video ispezione è possibile fornire una relazione tecnico-diagnostica, corredata di un report fotografico delle immagini acquisite nel corso dell'ispezione e della mappatura su planimetria dei percorsi delle tubazioni o condotti ispezionati e rilascio di file video.

5.4 ATTIVITÀ DI FRESATURA CON CUTTER TELEGUIDATO

La fresatura con cutter teleguidato è una tecnica di lavorazione non invasiva che permette di accedere dall'interno tubazioni, canali, intercapedini, ecc., permettendo di procedere a riparazioni puntuali, rimuovere le ostruzioni, riaprire allacci, effettuare sigillature e molte altre lavorazioni.

Tale attività è effettuata grazie all'inserimento all'interno delle tubazioni, condotti o intercapedini, di una sonda/robot dotati di una o più telecamere fisse/rotanti ad alta tecnologia, ad elevata risoluzione visiva, dotate di inclinometro e sistema di localizzazione in superficie. Con questa tecnica è possibile intervenire in ogni tipo di tubazione, condotto o intercapedine – orizzontale o verticale – operando su riaperture di allacci, rimozione di anomalie, riparazioni di rotture, danneggiamenti sulle quali dall'esterno sarebbe impossibile operare senza importanti scavi a cielo aperto. Il robot cutter, dotato anche di una fonte luminosa, consente di riprendere le operazioni svolte dall'utensile riprendendo immagini a colori in alta definizione, che vengono inviate in superficie in tempo reale permettendo uno svolgimento controllato delle operazioni. In sintesi, le fasi di intervento sono simili a quelle adottate per le videoispezioni.

5.5 ATTIVITÀ DI DEMOLIZIONE

Le demolizioni edili convenzionali presentano “effetti collaterali” quali: percussioni e vibrazioni dannose per le strutture attigue, rumorosità eccessiva, rilascio di una quantità considerevole di polvere, approssimazione di intervento, necessità di ripristino delle superfici. In totale antitesi rispetto a quanto appena descritto, le demolizioni attraverso tecnologie robotiche, con movimenti perfettamente graduabili e proporzionali nella loro azione, mostrano diversi vantaggi: assenza di

¹⁰ UNI/PdR 7:2014 – “Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrato a basso impatto ambientale: sistemi di minitrincea”; UNI/PdR 26.01:2017 – “Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrato a basso impatto ambientale – Sistemi per la localizzazione e mappatura delle infrastrutture nel sottosuolo”; UNI/PdR 26.02:2017 – “Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrato a basso impatto ambientale – Posa di tubazioni a spinta mediante perforazioni orizzontali”; UNI/PdR 26.03:2017 – “Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrato a basso impatto ambientale – Sistemi di perforazione guidata: Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC)”; UNI/ PdR 37:2018 – “Risanamento senza scavo di tubazioni sotterranee rigide per acqua potabile mediante rivestimento con malte cementizie o resine”.

perussioni, assenza di vibrazioni dannose, assenza di polvere, rumorosità contenuta episodica o assente, precisione e rapidità, e, in ultimo, maggiore sicurezza in cantiere.

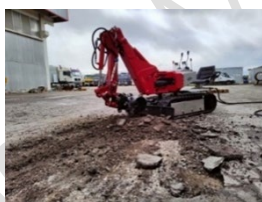
Proprio per queste sue caratteristiche, alla demolizione controllata ci si affida nella stragrande maggioranza dei casi in cui occorre operare delle micro-demolizioni edili, ad esempio nel caso della riconversione di edifici ad usi diversi da quelli per cui erano stati progettati, oltre che nei casi di demolizioni parziali, ma anche grandi demolizioni (demolizioni totali o parziali di ponti, viadotti o tratti autostradali)

I vantaggi dell'utilizzo di robot da demolizione sono i seguenti:

- possono essere macchine elettriche, quindi senza emissione di fumi e con il minimo impatto sulle condizioni degli ambienti di lavoro;
- possono essere piccoli e facilmente utilizzabili in ambienti ristretti;
- possono essere radiocomandati o telecomandati che significa che l'operatore si posiziona rispetto alla macchina in sicurezza per sé stesso e con la visuale migliore per eseguire il lavoro in maniera puntuale e precisa.

Il robot da demolizione lavora stabilizzato in un punto fisso utilizzando il braccio direzionabile per posizionarsi sul punto esatto da demolire riduce al minimo le sollecitazioni sulle solette.

Figura 12 – Digger per scavo e aspirazione



5.6 ATTIVITÀ DI IDRO-DEMOLIZIONE

L'idro-demolizione è il metodo sostenibile per rimuovere il calcestruzzo deteriorato e danneggiato, proteggendo e preservando le costruzioni in cemento. Con l'idro-demolizione è possibile mantenere una superficie in buono stato per essere reintegrata con nuovo materiale. Il controllo di precisione dei getti d'acqua ad alta pressione assicura che l'armatura di rinforzo rimanga intatta dopo l'operazione. Un'operazione basilare di idro-demolizione richiede solitamente due unità principali:

- una combinazione di pompa e motore ad alta pressione che crea pressione e flusso d'acqua;
- un robot che gestisce il posizionamento del getto d'acqua ad alta pressione. Le due unità sono collegate tra loro e all'operatore da un unico radio comando.

L'acqua ad alta pressione viene erogata dall'unità ad alta pressione al robot tramite un tubo flessibile ad alta pressione. L'acqua successivamente attraversa una lancia che manipola e dirige il getto d'acqua; oscillando attacca il calcestruzzo nel modo più ottimale, a seconda del tipo di rimozione richiesto. All'estremità della lancia è collocato un ugello la cui apertura determina la pressione e il flusso necessarie. Il getto d'acqua ad alta pressione penetra nel cemento mentre ne attraversa la superficie, rompe il calcestruzzo e lo fa scorrere all'esterno della superficie da demolire. Quando l'acqua pressurizzata penetra nel calcestruzzo, riempie le cavità. La pressione provoca quindi la frantumazione in piccoli pezzi del cemento. Questa tecnica, evita che si creino microcrepe nel cemento, dovute dalle vibrazioni, e riduce le emissioni di polveri nell'aria.

Il robot può lavorare automaticamente sulla superficie desiderata rimuovendo aree di cemento selezionate. È necessaria una pulizia finale per rimuovere i detriti e l'acqua, lasciando la superficie pulita e ruvida, pronta per il nuovo getto di calcestruzzo.

5.7 ATTIVITÀ CON ACQUA IN ALTA PRESSIONE

L'acqua ad alta pressione utilizza acqua pulita, che è compressa da una pompa ad altissima pressione attraverso un ugello controllato a distanza che la rende direzionabile. All'impatto del getto d'acqua, lo sporco o altri residui si staccano dalla superficie su cui appoggiano o si dissolvono fino anche a tagliare le superfici su cui è applicato. Solitamente queste attività avvengono attraverso accessori frontali (ugelli o cannoni) montati su robot cingolati, robot magnetici per lavori in verticale oppure montati sulle flange di accesso ai serbatoi (*Manway Cannon*). Diversi possono essere, inoltre, i fluidi usati:

- acqua fredda industriale;
- acqua calda;
- miscele di acqua e detergente;
- miscele di acqua e soda caustica.

Figura 13 – Dettaglio ugelli ad alta pressione



L'utilizzo di acqua in alta pressione combinatamente all'attività robotica viene utilizzata per le più svariate applicazioni. Di seguito, nel seguente prospetto 3 sono elencate le più comuni.

Prospetto 3 - Tipologia di robot e relativa applicazione

Tipologia	Applicazione
Robot cingolati	Lavaggio superfici (pareti e pavimenti)
	Rimozione incrostazioni
	Sgrassaggio
	Sverniciatura con idro-sabbiatura
Robot magnetici	Sverniciatura navi
	Sverniciatura pareti (interne ed esterne) dei tank
Robot semi fissi	Pulizia di componenti complessi industriali
	Tagli a freddo (metallo, calcestruzzo, ecc...)
Robot per Idro-escavazione	Scavo fori verticali e trincee
Flange	lavaggio dal tetto o dal fianco di cisterne
	fluidificazione fronti solidi di materiale

In fase preliminare è importante considerare fattori legati:

- alle caratteristiche del contesto operativo (presenza di atmosfere esplosive, compatibilità del fluido di lavaggio o taglio, insorgenza di eventuali cariche elettrostatiche)

- alle caratteristiche della pompa dell'acqua (pressione, portata nominale, forza di impatto del getto, forza di reazione contraria del getto).
- Alle caratteristiche dell'ugello e delle tubazioni (tipologia da usare, distanza dell'ugello dalla superficie da pulire, diametro e lunghezza delle tubazioni).

Il seguente prospetto 4 è una possibile check-list con elencati gli elementi più importanti nella scelta delle tecnologie e gli indicatori e i dati necessari per una corretta valutazione dell'adeguatezza delle tecnologie ad alta pressione.

Prospetto 4 - Checklist su parametri da considerare per le tecnologie ad alta pressione

Fattori chiave	Da verificare:
Qual è la pressione di lavoro della pompa?	Idoneità materiale all'alta pressione
Qual è la portata nominale della pompa?	Corretta scelta ugello
Qual è la forza di impatto del getto sulla superficie?	Compatibilità della sollecitazione meccanica
Qual è la forza di reazione contraria del getto?	Idoneità del Robot a tale sollecitazione.
Quali sono il diametro e la lunghezza della tubazione?	Valore della perdita di carico
Qual è la massima perdita di pressione ammessa?	Valore della pressione sull'ugello.
Qual distanza dell'ugello della parete e che tipo di ugello usare?	Qualità della pulizia sulla parete
Ci sono limitazioni dovute alla presenza di atmosfere esplosive?	Idoneità Certificati Atex attrezzature.
Quali sono le precauzioni per l'insorgere di cariche elettrostatiche?	Presenza idonei sistemi di messa a terra.
Quali tipi di fluido posso usare?	Compatibilità con i materiali a contatto

5.7.1 FOGNATURE

L'ugello di precisione applica un getto d'acqua ad alta pressione / basso volume trasportato da un robot appositamente progettato in grado di orientare l'ugello e di supervisionare le attività grazie ad un sistema di telecamere. Questo è utilizzato per la rimozione rapida e controllata di depositi e ostruzioni solide in tubazioni acque reflue e attacchi laterali di servizio di diametro compreso tra 150 e 1000 [mm].

Il taglio di precisione a getto d'acqua rimuove: olio, grasso, detriti, radici di alberi, cemento, incrostazioni, calcare, depositi minerali e calcestruzzo. In base al diametro del tubo, al materiale in cui è realizzata la tubazione e al tipo di depositi, l'operatore prepara il robot per l'operazione e determina il modello dell'attrezzatura, la configurazione del tipo di trazione e il tipo di ugello (getto rotante o dritto). L'operatore deve quindi inserire il robot attraverso il passo d'uomo nel tubo e spostarsi verso l'area problematica per posizionare il robot a una distanza effettiva dall'ostacolo.

Con il robot in posizione all'interno del tubo, l'operatore può avviare la pompa dall'unità di controllo, prima a bassa pressione, e poi aumentando lentamente la pressione fino a quando il getto d'acqua inizia a rimuovere il deposito. Grandi pezzi di deposito si staccano quando il getto d'acqua si fa strada attraverso il fronte, creando pressione tra la superficie del tubo e il deposito. L'operazione deve essere interrotta quando vi sono troppi materiali sciolti tra il robot e l'ostruzione. Questi sono rimossi tramite un autospruzzo prima che l'operazione possa continuare.

5.7.2 PREPARAZIONI DELLE SUPERFICI

La preparazione della superficie è la fase principale della prevenzione della corrosione e una corretta esecuzione è essenziale per stendere un nuovo strato di rivestimento (vernice o resina) e perché questo possa aderire alla superficie.

La pulizia e la rugosità della superficie influiscono notevolmente sulla qualità e sulle prestazioni del rivestimento applicato. Per ottimizzare il risultato dell'adesione del rivestimento, la superficie in acciaio deve essere priva di sporco, grasso e polvere. Esistono dei robot cingolati magnetici con applicazioni per i due principali metodi di preparazione della superficie:

- idrosabbatura: utilizza acqua ad altissima pressione (500 bar);
- sabbatura abrasiva: utilizza materiale a grana fine (sabbia o altri materiali) per pulire le superfici.

Metodi alternativi come sabbatura con ghiaccio secco, laser, granigliatura possono essere anch'essi integrati. Maggiori valutazioni sulla tecnologia da utilizzare dipendono dalle condizioni e dalle specifiche della superficie in acciaio.

5.7.3 PULIZIE INDUSTRIALI

La pulizia tramite acqua ad alta pressione (*water jetting* o *idro jetting*) è un'attività essenziale nell'ambito delle pulizie industriali. Questa tipologia di attività include un motore, una pompa a pressione, tubi flessibili, ugelli, controlli e vari accessori per generare la portata e la pressione dell'acqua necessari. Esistono vari tipi di sistemi di lavaggio ad acqua ad alta pressione adatti a particolari lavori di pulizia, ma questi devono essere selezionati attentamente in base all'applicazione:

- la pressione nominale è misurata in bar. La pressione dell'acqua contribuisce all'impatto che spezza il legame dello sporco con la superficie da pulire;
- la portata d'acqua si misura in litri. Il volume d'acqua fornito dalla pompa a pressione aiuta anche a determinare l'efficacia minima e la velocità del sistema di pulizia dell'acqua nella rimozione e nel risciacquo dello sporco.

Il tipo di ugello all'estremità del tubo è un altro fattore importante che fa la differenza nell'impatto dell'acqua ad alta pressione sulla superficie da pulire. Gli ugelli sono classificati in base alla dimensione dei loro fori, all'angolo di direzione del getto, e il tipo di getto (a cono o ventaglio).

Fonte di alimentazione della pompa a pressione è una fornitura di acqua disponibile. La giusta combinazione della portata dell'acqua, del tipo di ugello e della sua distanza dalla superficie da pulire crea il *sistema* di pulizia con acqua ad alta pressione più efficace.

Nell'industria sono molteplici gli utilizzi di questo tipo di pulizia, quanto sono molteplici i rischi per gli operatori ed è per questo che negli anni sono state sviluppate tecnologie in grado di sostituire l'operatore nella gestione diretta della lancia/ugello ad alta pressione. Le seguenti principali tipologie di attività sono efficacemente effettuate da robot di diversa manifattura, forme e certificazioni:

- pulizia di serbatoi di stoccaggio in ambito petrolchimico;
- pulizia di serbatoi di stoccaggio in ambito distribuzione (stazioni di servizio);
- lavaggi delle superfici con acqua in alta pressione e temperatura;
- pulizia degli scambiatori di calore in ambito petrolchimico (*heat exchangers*).

5.7.4 TAGLI A FREDDO

Grazie all'altissima pressione (da 2500 a 4000 BAR), l'acqua, con aggiunta di appositi abrasivi, è in grado di tagliare una gran quantità di materiali, da pochi millimetri fino circa 20 centimetri, con estrema

precisione compatibilmente con la presenza di atmosfere potenzialmente esplosive senza rischi. Il taglio ad acqua è una lavorazione molto versatile perché:

- 1) non causa deformazioni meccaniche sui bordi del taglio;
- 2) non causa deformazioni termiche in quanto il raffreddamento dell'acqua è immediato;
- 3) non necessita di lavorazioni secondarie per affinare o ripulire il taglio;
- 4) è altamente preciso, infatti il diametro del getto può arrivare fino a 0.74 mm, precisione paragonabile solo al taglio delle lamiere con il laser;
- 5) non genera scintille.

5.8 ATTIVITÀ SUBACQUEE

La rimozione di materiale sabbioso e detriti in ambienti sommersi è un campo particolare dove le tecnologie robotiche possono essere utilizzate.

Nello specifico, i robot possono essere usati per pulire:

- vasche raccolta reflui fangosi industriali;
- vasche di raccolta acque di tempra in acciaierie;
- torri di raffreddamento;
- serbatoi di stoccaggio acque fuori terra;
- tubature interrate di grande diametro;
- prese di acqua di mare per raffreddamento centrali con particolare riferimento all'estrazione di fanghi e bonifica delle acque.

Inoltre, è fondamentale considerare la tipologia di acqua in cui il robot andrà ad operare. Le differenze implicano che i materiali di costruzione devono essere adatti ad ambienti che potrebbero essere altamente salini e corrosivi. In linea teorica, le tipologie di acque nelle quali il robot può operare sono:

- acqua potabile;
- acqua salata;
- acqua calda (massimo 90°C);
- acqua lurida (fogna);
- acqua con idrocarburi;
- acqua radioattiva;
- acqua demineralizzata.

Lo schema di funzionamento e gli elementi necessari a far funzionare il robot (centraline di comando, telecamere, luci LED, centraline di potenza, ecc.) sono gli stessi delle altre applicazioni, ma sono necessari accorgimenti particolari per le attività subacquee. Il robot, infatti, deve avere un sistema di

contrappesi e zavorre per poter lavorare a fondo vasca; inoltre, in base alle esigenze, l'ombelicale può essere galleggiante e il robot stesso deve avere un sistema di recupero nel caso di avarie. Altri elementi da considerare sono:

- la tipologia del materiale da rimuovere: questo determina la scelta degli accessori che possono essere spazzole (in plastica o nylon) oppure coclee in acciaio;
- la quantità, la tipologia e lo spessore del materiale depositato da rimuovere: questo determina il tipo di pompa da montare a bordo della macchina (a lobi, centrifuga, da dragaggio).

Figura 14 – Robot subacqueo con pompa a bordo



5.9 ATTIVITÀ IN PRESENZA DI TEMPERATURE ELEVATE

Gli interventi di pulizia in presenza di temperature elevate sono necessari in molteplici applicazioni come le acciaierie, le raffinerie, la produzione di refrattari, i forni fusori del vetro, i forni fusori dei metalli (alluminio, rame, ghisa, zinco), forni gas.

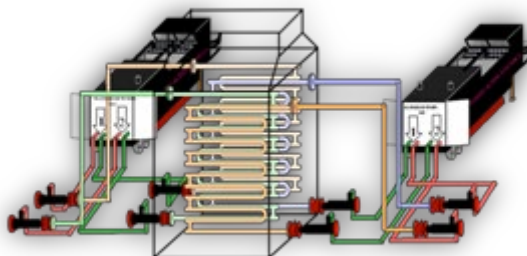
Solitamente questi impianti utilizzano forni ad altissima temperatura (anche 1200-1300°C nel caso della lavorazione del vetro): durante le fasi di lavorazione, all'interno dei forni si depositano polveri e ceneri che periodicamente devono essere rimosse; inoltre, i condotti di raffreddamento fumi depositano sulle pareti fuliggine, solfati e altri prodotti che con il tempo possono anche causare l'ostruzione del percorso verticale.

L'impiego di robot per la pulizia di questi impianti permette di evitare che le operazioni vengano svolte da operatori ed evitare quindi che le persone siano esposte a temperature elevate e a rischi connessi. I robot devono avere caratteristiche specifiche per lavorare in ambienti estremi:

- un sistema di raffreddamento forzato che permetta alla macchina di operare a temperature elevate (per esempio 600°C);
- tutta la meccanica di trasmissione potenza deve essere montata all'interno di una custodia centrale sigillata per mantenere una temperatura costante;
- un sistema di monitoraggio attraverso termocoppie per verificare che il sistema di raffreddamento forzato sia funzionante;
- sistemi di allarme di massima temperatura del robot per attivare l'eventuale recupero di emergenza.
- Ombelicali con guaine protettive – costruite con materiali idonei a lavorare ad alte temperature – e sistemi pneumatici di raffreddamento delle tubazioni interne all'ombelicale.

5.10 ATTIVITÀ PULIZIA CONDOTTE TRAMITE DECOKING

Figura 15 – Schema di funzionamento del decoking



Il decoking meccanico, noto anche come pigging, è un metodo di pulizia di sistemi di condotte in pressione (generalmente di processo) preferito in molti settori industriali. È meno probabile che le tubazioni vengano deformate e non comporta gli elevati costi ambientali associati alle pulizie chimiche. In questa tecnica, tramite l'adozione di attrezzature speciali che vengono connesse (trappole di ingresso e uscita) al sistema tubiero oggetto di pulizia/disincrostazione, gli operatori inseriscono dispositivi mobili abrasivi flessibili in materiali compositi, di foggia e dimensione variabile, noti come "pig". Attraverso l'attrezzatura dedicata viene messo in pressione il circuito oggetto di manutenzione e "sparato" all'interno dello stesso, sfruttando la spinta idrostatica generata il pig che, strofinandole con noduli sui lati per rimuovere le incrostazioni. L'acqua aiuta a spingerli attraverso il sistema tubiero oggetto di pulizia, affrontando anche le curve più difficili, e a lavare via i detriti che vengono recuperati nella vasca di raccolta alla fine del circuito.

Più passaggi di decoking possono garantire che le tubazioni siano il più pulite possibile e ciò è chiaramente desumibile dal profilo di pressurizzazione del sistema durante i passaggi, nonché dal volume di detriti recuperati a valle del processo.

Alcuni pig hanno funzioni a ultrasuoni, che consentono loro di far vibrare la bilancia per rimuoverne di più o addirittura dispositivi "intelligenti" dotati di sistemi di diagnosi e misurazione dello stato di salute delle condotte oggetto di manutenzione. Possono anche essere dotati di telecamere per valutarne l'efficacia, consentendo all'operatore di determinare se è necessario un altro passaggio per ottenere i tubi il più puliti possibile. I tecnici possono scegliere tra una varietà di pig progettati per tubi di diversi diametri, lunghezze e composizioni per selezionare lo strumento ottimale per l'attività.

Le strutture in genere conservano i registri del piano di calpestio per documentare l'ultima volta che sono stati puliti e quali tipi di materiale sono stati trovati durante il processo. I registri possono aiutare le aziende a determinare la periodicità suggerita per lo svolgimento di tale attività e possono anche identificare anomalie che potrebbero indicare malfunzionamenti delle apparecchiature e altri problemi anche potenziali. Ad esempio, le sostanze chimiche associate alla combustione parziale potrebbero indicare che i sistemi/forni non funzionano in modo efficiente.

Figura 16 – Esempio di pig



5.11 ATTIVITÀ TAGLIO RADICI CONDOTTE ACQUE BIANCHE

Le attività di manutenzione delle condotte delle acque bianche sono un fattore chiave per preservare l'integrità dei manufatti, assicurare continuità di servizio della rete idrica e permettere di avere sottoservizi in grado di resistere a eventi climatici estremi.

Gli apparati radicali sono elementi che possono, se non tagliati periodicamente, portare ad occlusioni di condotte e tubazioni: sterpaglie, carta e altri elementi potrebbero, infatti, incastrarsi fra le radici e diminuire la portata delle condotte. Le attività di manutenzione prevedono che i robot possano essere utilizzati per tagliare le ramificazioni sotterranee attraverso accessori frontali muniti di teste e tamburi fresanti. Queste attività sono funzionali ad evitare che nel caso, per esempio, di precipitazioni con volumi d'acqua abbondanti, le tubature si intasino e si verifichino allagamenti.

6 TECNOLOGIE ROBOTICHE

6.1 GENERALITÀ

In fase di valutazione preliminare di una tecnologia e, successivamente, in fase di elaborazione di un capitolato dei lavori è necessario considerare alcuni elementi correlati fra di loro. Il materiale da aspirare, infatti, comporta già una prima discriminante, come evidenziato dal prospetto 5 sotto riportato.

Prospetto 5 - Tipologia di materiale da aspirare e tecnologia associata

Materiale	Tecnologia	Depressione	Diametro tubo
Solidi di grossa pezzatura	Aspirazione pneumatica	Bassa	Ø 150-250 [mm]
Solidi di media pezzatura	Aspirazione sottovuoto	Alta	Ø 100-150 [mm]
Polveri	Aspirazione sottovuoto	Alta	Ø 80 -100 [mm]
fanghi palabili	Aspirazione pneumatica	Bassa	Ø 150-250 [mm]
fanghi densi	pompaggio	Alta	Ø 50-100 [mm]
fanghi soffici	pompaggio	Alta	Ø 50-100 [mm]
liquidi	aspirazione sottovuoto	Alta	Ø 80-100 [mm]

Oltre alla tipologia di materiale da aspirare devono essere considerati i seguenti fattori:

- la funzione del robot:
 - prescavi, scavi e demolizioni;
 - aspirazione pneumatica o sottovuoto del materiale (dal basso o dall'alto);
 - lavaggio e/o sgrassaggio di superfici orizzontali o verticali;
 - pompaggio di materiale;
 - esecuzione di misurazioni (spessori) e video ispezioni.
- Il contesto del cantiere:
 - serbatoi (interrati o fuori terra, coperti o scoperti, con tetto fisso o galleggiante);
 - silos per stoccaggio di materie prime (cereali, farine, ecc.);

- condotte del servizio idrico (fognature, pozzi, vasche di depurazione, condotte acque bianche);
- impianti industriali (pipeline, torri di raffreddamento, doghouse, ambienti sotterranei, ecc.).

Devono essere inoltre tenuti in considerazione alcuni parametri legati alle distanze (in verticale e in orizzontale) che i sistemi robotici possono offrire. Nei seguenti prospetti 6 e 7 sono riportati i valori indicativi per determinare profondità e distanza alle quali i robot possono operare.

Prospetto 6 - Profondità di aspirazione

Tecnologia	Pressione / Depressione	Profondità	
		[bar]	[mt]
Autospurgo	Pompa vuoto	-0,9	9
Escavatori a Risucchio	(Tre turbine)	-0,6	50
	(Due turbine)	-0,4	45
	(Una turbina)	-0,2	15
Pompaggio	Centrifuga	3	20
	Volumetrica	5	40
	Volumetrica	10	80

Prospetto 7 - Distanza di aspirazione

Tecnologia	Pressione / Depressione	Aspirazione	
		[bar]	[mt]
Autospurgo	Pompa vuoto	-0,9	200
Escavatore a Risucchio	(Tre turbine)	-0,6	150
	(Due turbine)	-0,4	120
	(Una turbina)	-0,2	70
Pompaggio	Centrifuga	3	100
	Volumetrica	5	150
	Volumetrica	10	250

Un robot è una macchina semovente, comandabile da remoto, che può essere costruita in diverse configurazioni. In questo paragrafo verranno riportati, in forma sintetica, elementi chiave che determinano le caratteristiche tecniche e costruttive dei robot, evidenziando le peculiarità delle tre tipologie di robot: idraulici, pneumatici ed elettrici.

A livello strutturale, la parte fondamentale è il sottocarro che può essere di diverse tipologie in base all'applicazione. Sono tre le macrocategorie di sottocarri:

- sottocarri a trazione orizzontale in diverse opzioni: sottocarro singolo con due cingoli, doppio sotto carro con due cingoli, ecc;
- sottocarri a trazione verticale – usati per i robot che lavorano all'interno di tubazioni a sezione circolare – composti da almeno 3 cingoli allargabili;

- sottocarri a trazione con vite di Archimede che sono usati per lavorare in tubi orizzontali di piccolo diametro, su fondi molto irregolari, dove sono presenti materiali granulari, in ambienti anfibii.

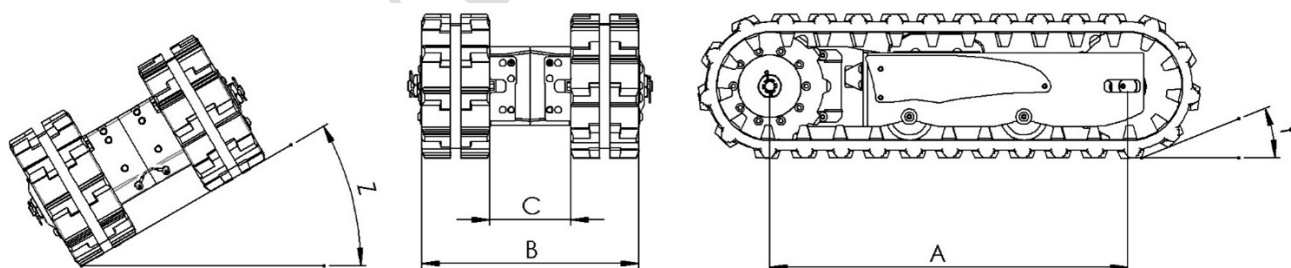
I sotto carri sono equipaggiati con cingoli composti di diversi materiali in base allo scopo e all'applicazione. Le tipologie più comuni sono: cingoli elastomerici, cingoli metallici con pattini elastomerici e pattini specifici, cingoli elastomerici con cinghie di trasmissione o pattini magnetici. Inoltre, la configurazione dei cingoli diventa fondamentale per garantire determinate caratteristiche di movimentazione all'interno del cantiere. Un robot, infatti, può avere due cingoli piani per comandare la sterzata, possono essere cingoli allargabili per avere più stabilità e poter entrare attraverso passi d'uomo stretti oppure cingoli inclinabili per adattarsi a fondi molto irregolari. Le dimensioni dei sottocarri sono decisive per adattarsi ai contesti operativi. Nel seguente prospetto sono indicate delle possibili applicazioni e la relativa rilevanza di altezza, larghezza e lunghezza dei sottocarri.

Prospetto 8 - Matrice per valutazione delle dimensioni sottocarro

IMPORTANZA (SI/NO) DELLE DIMENSIONI DEL SOTTOCARRO IN SPECIFICI CONTESTI			
	ALTEZZA	LARGHEZZA	LUNGHEZZA
Pulizia sotto nastri trasportatori	SI	NO	NO
Passaggio attraverso porte	NO	SI	SI
Inversione direzione in corridoi	NO	NO	SI
Scavo sotto pipeline	SI	SI	NO
Aspirazione sotto serpentine di riscaldamento nei depositi di idrocarburi	SI	NO	SI
Immissione attraverso griglie di ispezione	SI	SI	NO

Un altro aspetto fondamentale è legato a caratteristiche e prestazioni specifiche legate alle dimensioni, al peso e alle pendenze a cui il sotto carro può lavorare (vedere figura 17).

Figura 17 – Caratteristiche e prestazioni specifiche legate alle dimensioni, al peso e alle pendenze



Oltre alle dimensioni (A=lunghezza, B=larghezza esterna, C=larghezza interna) e ai pesi, sono importanti per valutare l'uso dei robot alcuni fattori come l'angolo massimo di inclinazione laterale (Z) oppure l'angolo di attacco (Y).

Di seguito il prospetto 9 riassume i valori di riferimento.

Prospetto 9 - Matrice delle caratteristiche fisico/meccaniche dei sottocarri e relativi robot

Taglia	Peso	Capacità di carico	Peso Robot	Dim. A	Dim. B	Dim. C	Pressione al Suolo	Forza di Tiro	Passo d'uomo	Angolo di Attacco (Y)	Max Pendenza Laterale (Z)
	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[Kg/cm ²]	[Kg]	[mm]	[°deg]	[°deg]
S	50	150	200	470	320	100	0,19	110	450	30	22
M	100	300	400	470	380	160	0,39	140	500	33	24
L	150	450	600	670	420	160	0,34	250	600	37	30
XL	200	600	800	870	760	400	0,26	340	750	41	33

Le temperature ambiente determinano quale delle tre tipologie di robot (idraulico, pneumatico ed elettrico) possono lavorare. Nel seguente prospetto 10 sono riassunte le varie opzioni disponibili.

Prospetto 10 - Temperature di funzionamento delle varie tipologie di robot

TECNOLOGIA	da -40° a -20°	da -20° a +40	da +40° a +80°
Tecnologia Idraulica	Idraulica con Riscaldamento dell'olio	Idraulica con Raffreddamento dell'olio	Idraulica con Raffreddamento dell'olio
Tecnologia Pneumatica	No	Pneumatica Standard	Pneumatica Standard
Tecnologia Elettronica	No	Elettronica Standard	Elettronica con Raffreddamento

Anche i materiali da costruzione dei robot influiscono sulla scelta della tecnologia più opportuna in correlazione all'applicazione e le caratteristiche del cantiere e del materiale da trattare. Devono essere considerate tutte le componenti, da quelle costruite con metalli, elastomeri e materiali tecnici (PVC, PE, PP, ecc.). Ogni materiale, infatti, ha caratteristiche che interagiscono in maniera specifica alle temperature, all'usura, ad ambienti acidi o basici, alla presenza di olio, alla presenza di fuoco, ecc.

Un tema fondamentale, nell'uso dei robot, è quello legato alla sicurezza del macchinario. L'uso di questi robot, infatti, nasce per aumentare il livello di sicurezza dei cantieri. Pertanto, ogni robot deve essere fornito di sensoristica dedicata per monitorare eventuali anomalie di funzionamento o ribaltamenti del mezzo. Di seguito, il prospetto 11 riassume i rischi e i parametri da considerare.

Prospetto 11 - Matrice sui rischi e relativi dispositivi di sicurezza

Tipo di Sicurezza	Rischio	Valore della Misura
Inclinometro	Ribaltamento	Pendenza laterale
Gas Detector	Infiammabilità	% LEL (Lower Explosive Limit)
Termostato	Sovratemperatura Robot	Temperatura Valore più critico
Grounding	Formazione Cariche elettrostatiche	Resistenza elettrica materiali

6.2 ROBOT IDRAULICI

Nelle configurazioni oleodinamiche la trasmissione dell'energia avviene tramite olio idraulico in pressione. Gli elementi principali per trasmettere il moto sono tubazioni idrauliche ombelicali che trasmettono al robot la portata e la pressione dell'olio generalmente generata da una pompa facente parte di un circuito oleodinamico. L'utilizzo dell'oleodinamica consente la gestione ottimale di potenze anche notevoli attraverso un tipo di componentistica di dimensioni e pesi ridotti, molte volte progettata ad hoc per l'applicazione in cui viene coinvolta.

Consente inoltre di controllarne i parametri di utilizzo (portate, pressioni, temperature) in maniera da rendere tali parametri configurabili per ogni tipologia di attrezzatura e di applicazione. Lo stesso circuito idraulico può di per sé comprendere un sistema di protezione particolare che, a seguito di accertamento tecnico da parte di enti certificatori terzi, rende le attrezzature idonee ad essere utilizzate in presenza di gas esplosivi e di atmosfere contaminate da gas o agenti chimici. L'utilizzo di attrezzature idrauliche consente un'affidabilità sul lungo termine, una resistenza maggiore alle temperature ed all'umidità.

L'impianto idraulico deve essere alimentato da un'unità di potenza che può essere di due tipologie:

- con motore endotermico;
- con motore elettrico (connesso alla rete elettrica tramite cavo o alimentato da batterie al litio).

6.3 ROBOT PNEUMATICI

Nelle progettazioni pneumatiche si considera, per il trasferimento di forze l'utilizzo di gas in pressione, molto spesso aria compressa. Generalmente si opta per l'alimentazione pneumatica quando entrano in gioco forze minori rispetto a quelle utilizzate nelle applicazioni idrauliche. L'aria compressa, appositamente trattata e filtrata, viene opportunamente indirizzata all'azionamento di dispositivi di trasmissione del moto molto simili a quelli utilizzati nell'oleodinamica, con l'unica differenza sui metodi di controllo e di distribuzione di pressione e portata.

L'azionamento infatti avviene solitamente in modo ON/OFF. Risultano molto laboriosi, se non impossibili, la progettazione e lo sviluppo di sistemi con caratteristiche di proporzionalità e di compensazione dei vari movimenti. Per questo i movimenti prodotti solitamente non consentono trasferimento su lunga distanza, a causa dei ritardi dovuti alla compressione dell'aria lungo la linea di movimentazione, nella regolazione accurata di velocità o di corsa dei movimenti (nel caso di cilindri pneumatici). La comune componentistica pneumatica risulta essere meno adatta a lavori pesanti, con una più bassa resistenza all'umidità e alle variazioni di temperature nell'ambiente di lavoro.

Anche nel caso dei sistemi pneumatici, è possibile una tipologia di progettazione a sicurezza intrinseca, la quale rende i macchinari utilizzabili in presenza di gas esplosivi e di atmosfere contaminate da gas o agenti chimici.

I sistemi pneumatici richiedono di essere alimentati da un'unità di potenza che può essere di due tipologie:

- con motore endotermico;
- con motore elettrico (connesso alla rete elettrica tramite cavo o alimentato da batterie al litio).

6.4 ROBOT ELETTRICI

L'applicazione elettrica utilizza l'energia elettrica in ingresso al sistema (generata da un generatore, da un pacco batterie o da un'alimentazione diretta dalla rete) trasformandola in energia meccanica e rendendola disponibile in base alle necessità dell'applicazione.

Analogamente, la stessa energia elettrica può essere utilizzata per alimentare accessori ausiliari non meccanici, come sistemi di video ispezione e/o di localizzazione del macchinario di interesse. La protezione di un macchinario alimentato elettricamente all'interno di ambienti pericolosi è più complessa e richiede modifiche strutturali molto più onerose per la committenza rispetto alle modifiche necessarie per i sistemi idraulici e pneumatici.

L'alimentazione dei robot elettrici può essere di due tipologie

- attraverso connessione con un motore endotermico o con delle batterie al litio;
- con batterie a bordo macchina.

7 INDAGINI PRELIMINARI

7.1 GENERALITÀ

La finalità delle indagini preliminari è quella di definire in prima analisi le caratteristiche del sito industriale e del cantiere all'interno del quale verrà applicata la tecnologia robotica. La metodologia prevede diversi ambiti di indagine che andranno a definire un piano di intervento per un corretto impiego delle tecnologie sia dal punto di vista operativo sia dal punto di vista tecnico-economico.

La presente prassi di riferimento è elaborata secondo il principio logico dell'appropriata valutazione della convenienza e dell'efficacia della tecnologia robotica di aspirazione e manutenzione. Pertanto, è necessario avere una consistente conoscenza dello stato di fatto dei luoghi/ambienti, di tutti gli impianti sotterranei in esercizio (solitamente indicativi), della tipologia dei materiali e della viabilità. Al fine di predisporre la corretta informazione sull'utilizzo dell'attrezzatura adeguata, si fornisce, innanzitutto, uno schema di "indagine-sopralluogo" preliminari, che devono essere eseguiti per accertare la possibilità di impiego di tali tecniche, per passare nei punti successivi alla descrizione dettagliata delle tecnologie stesse e proseguendo, quindi, nella individuazione delle attrezzature impiegate. L'indagine preliminare deve essere svolta secondo il seguente modello di principi. La pianificazione delle indagini necessarie, il monitoraggio professionale del sito, nonché la stesura della bozza del report, dovrebbero essere effettuate da un tecnico, che conosca il metodo di lavorazione.

I piani di indagine possono essere riassunti in:

- indagini dell'ambiente operativo e degli aspetti logistici dell'intervento;
- indagini ambientali al contorno;
- Indagini chimico-fisiche sui materiali da asportare.

7.2 PIANO DI INDAGINE PRELIMINARE DELL'AMBIENTE OPERATIVO

L'indagine preliminare deve essere correlata all'importanza dell'intervento da realizzare, agli eventuali rischi legati ad atmosfere esplosive o materiali corrosivi o dannosi per la macchina, alla complessità logistica del sito ed alla probabilità di rinvenimento di sottoservizi, tubature, impianti. La pianificazione

delle indagini necessarie e il monitoraggio professionale del sito, nonché la stesura della bozza del report delle indagini, devono essere effettuati da tecnico che conosca adeguatamente le potenzialità ed i limiti della macchina nonché i metodi di lavorazione.

Il presente punto del documento fornisce specificazione del quadro complessivo delle indagini di ausilio alla progettazione dell'intervento, fermo restando che spetta al progettista la responsabilità di definire i contenuti dell'indagine in funzione dell'importanza e delle dimensioni dell'attività.

L'indagine preliminare può essere eseguita attraverso il reperimento di:

- documentazione relativa alla zona di intervento o dell'impianto industriale tramite la raccolta di tutte le planimetrie, disegni tecnici degli impianti, carte topografiche e ulteriori altre informazioni bibliografiche o tecniche sul sito di cantiere;
- un'analisi preventiva della tipologia di impatti che l'uso dei robot può avere nel contesto di utilizzo, quindi valutare le emissioni – sul suolo, su impianti di produzione normati da specifiche direttive (per esempio nel settore alimentare), su acque superficiali e di falda – o il rilascio di olio, grassi, materiali metallici ed elastomerici dalla macchina;
- un'analisi delle caratteristiche logistiche del sito utili a definire la movimentazione di mezzi, la corretta disposizione delle attrezzature (come generatori, stazioni di controllo, vasche di raccolta del materiale aspirato) funzionali all'esecuzione del lavoro.

7.3 INDAGINI AMBIENTALI AL CONTORNO

L'ambiente nel quale viene chiamato a lavorare il minirobot deve essere previamente classificato in base ai rischi legati all'esplosività, dal momento che la macchina può essere alimentata a mezzo di motore endotermico o elettrico così come può legare la propria mobilità ad un apposito circuito idraulico posto in pressione da un'apposita centralina idraulica che può essere posizionata a debita distanza dai luoghi delle lavorazioni, essendo essa stessa dotata di motore endotermico.

Si raccomanda che l'ambiente di lavoro sia analizzato con particolare riguardo:

- all'accessibilità (dimensioni del robot scelto);
- alla praticabilità delle superfici (scivolosità di superfici metalliche carrabili che suggerisca l'impiego, ad esempio, di cingoli magnetici);
- alla praticabilità del percorso da seguire (disassamenti su condutture che impediscano il progredire di un mezzo al suo interno);
- alle temperature (che possono deteriorare le parti più delicate del robot);
- all'escursione termica (che può generare vapori dannosi per la visibilità in remoto a mezzo telecamera);
- alla carrabilità dell'area (considerato il peso significativo di alcuni robot).

7.4 INDAGINI SUI MATERIALI DA RIMUOVERE

I materiali da lavorare possono influenzare le scelte operate a monte dal progettista del cantiere, portandolo a dotare la macchina di adeguati accessori realizzati in particolari materiali altamente resistenti all'abrasione, o a scegliere un robot alternativo nel caso il materiale sia più o meno coerente, più o meno fangoso, liquido o dotato di particolari caratteristiche problematiche per altre tipologie di robot.

Inoltre, possono essere raccolte specifiche informazioni sulle specificità chimiche e sulla volumetria dei materiali da rimuovere e bonificare. Di seguito un elenco non esaustivo dei materiali che possono essere aspirati in ambito di manutenzioni industriali ed edilizia:

- terreni da costruzione;
- fanghi (acidi e basici);
- materiali corrosivi, piroforici, abrasivi, isolanti;
- polveri esplosive e ceneri.

In particolare, nel caso di elementi inquinanti deve essere predisposta una filiera di gestione del rifiuto che prevede l'implementazione di tecnologie accessorie per il corretto smaltimento (centrifughe, sistemi di filtrazione per amianto, separatori meccanici, ecc.). Inoltre, il piano di indagine preliminare deve prevedere una caratterizzazione ambientale dei terreni e dell'area di intervento al fine di valutare e mitigare possibili fenomeni di inquinamento-contaminazione dei luoghi, nonché garantire la sicurezza e la salvaguardia dell'ambiente e delle persone all'interno e all'esterno del cantiere.

Per tali motivi si raccomanda di valutare:

- le condizioni di inquinamento iniziali e di vulnerabilità ambientale del sito anche attraverso analisi chimico- fisiche;
- le possibili interazioni degli interventi in progetto con lo stato ambientale del sito.
- La fattibilità tecnico/economica dello smaltimento definitivo dei rifiuti prodotti secondo la legislazione regionale e nazionale vigente in materia.

8 CONFIGURAZIONI DELLE TECNOLOGIE ROBOTICHE

8.1 GENERALITÀ

L'adozione di tecnologie robotiche per lavori di aspirazione e manutenzione comprende, oltre al singolo robot, anche altri elementi costitutivi. Il ROV, infatti, necessita di unità in grado di alimentare il suo funzionamento. Tipicamente queste unità di potenza sono motori endotermici che forniscono potenza e permettono di muovere il robot in direzioni diverse, azionare gli accessori (alzare o abbassare utensili operatori, muovere a destra o sinistra bracci meccanici, ecc.). A questi si aggiunge l'alimentazione elettrica per permettere a telecamere, luci a led, sensori di poter funzionare. Infine, i robot necessitano di una stazione o unità di controllo che permetta tramite schermi, radiocomandi o distributori idraulici manuali di poter muovere la macchina, ricevere segnali dalla macchina stessa, attivare e controllare accessori. Le unità di controllo e le unità di potenza possono essere dislocate nel cantiere in base alle esigenze operative, nel rispetto pieno dei protocolli di sicurezza e adeguatezza previsti dalla legislazione vigente.

8.2 ALLESTIMENTO CANTIERE STANDARD

Nell'ambito dei cantieri in ambito industriale e civile che non siano classificati come zone a rischio esplosione (ATEX), è fondamentale seguire una procedura per allestire il cantiere e i vari componenti per il corretto funzionamento dei robot e delle attrezzature propedeutiche alla messa in opera. La cantierizzazione è disciplinata dalla legislazione vigente in tema di ambiente e sicurezza. Oltre a queste, nel caso di interventi all'interno di impianti industriali, devono essere tenute in considerazione

tutte le normative relative obbligatorie e i regolamenti interni di ogni specifico sito¹¹. In via generale, per operare con tecnologie robotiche di aspirazione o videoispezione, gli elementi da predisporre nel cantiere sono:

- l'unità di potenza

l'unità di potenza serve ad alimentare il robot e può essere:

- idraulica;
- pneumatica;
- elettrica.

Può essere allestita all'interno di un container oppure essere un'unità indipendente trasportabile con un carrello elevatore o una gru. Da questa unità di potenza partono le tubature idrauliche collegate al robot e che servono ad alimentare tutti i movimenti idraulici della macchina attraverso connettori idraulici. In base al tipo di robot e ai movimenti che si vogliono comandare, il numero di tubazioni per il passaggio dell'olio può variare. Questa unità deve essere collocata in prossimità del punto di lavoro del robot e solitamente ha al suo interno un arrotolatore che consente di alloggiare tutto il tubo. Grazie alla lunghezza di questo tubo, è possibile raggiungere con il robot distanze lineari anche di 100 [mt].

Il prospetto 12 di seguito è una matrice per dare indicazioni, in fase di appalto, di quali sono le potenze medie disponibili per alimentare un robot.

Prospetto 12 - Schema potenze medie per le varie dimensioni di robot

Taglia	Potenza	Pressione	Portata 1° circuito	Portata 2° circuito	Costo medio Combustibile
	[KW]	[bar]	[lt/min]	[lt/min]	[€/h]
Piccola	4	230	10	\	2
Medio-piccola	7.5	230	20	\	4
Media	15	230	20	20	8
Grande	30	230	20	60	16

- L'unità di controllo

L'unità di controllo è deputata a manovrare il robot. Possono esistere diverse configurazioni, in base alle esigenze di cantiere e ai vincoli logistici e operativi:

- nel caso di siti dove è possibile manovrare a vista il robot (come per esempio bacini aperti, vasche di depurazione, depositi scoperti, ecc.) l'unità di controllo è costituita solo da un distributore idraulico manuale allestito su cosiddetti *skid* oppure su carrelli di piccole dimensioni.

¹¹ Per la parte ambientale il D.lgs. n. 152/2006; per i temi di salute e sicurezza il D.lgs. n. 81/2008; inoltre, è da considerare per i cantieri edili il D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380.

- in alternativa, l'unità di controllo può essere costituita da sistemi radiocomandati (con ricevente e trasmittente) e distributori elettro-idraulici, con postazioni allestite eventualmente all'interno di rimorchi chiusi (*trailer*) oppure furgoni commerciali chiusi.
- nel caso di comando totalmente da remoto, e quindi con l'impossibilità di controllare a vista il funzionamento dei robot, è necessario che l'unità di controllo abbia anche schermi per ricevere le immagini, o altri tipi di dati, direttamente dalle telecamere e dai sensori montati a bordo del robot. In questo caso le unità di controllo sono poste all'interno di container movimentabili attraverso gru di grandi dimensioni.

All'interno di un cantiere, l'unità di controllo è l'elemento del sistema dove lavorano gli operatori. Ci sono quindi alcuni accorgimenti che in fase costruttiva dell'unità di controllo e anche nelle fasi di preparazione del cantiere sono fondamentali da considerare, si deve:

- verificare la visibilità del robot dalla postazione;
- verificare che tutti i comandi manuali di emergenza siano attivati;
- verificare che i sistemi di recupero del robot siano testati e funzionanti (mezzi di recupero, funi per traino e recupero, paranchi, ganci, ecc.);
- se l'operatore è all'interno di cabine chiuse (di container, van, trailer), verificare che i sistemi di areazione meccanica siano funzionanti.

• Il robot

Il robot è l'elemento centrale del sistema. In base al lavoro che deve svolgere (bonifica, aspirazione, videoispezione, ecc.) e al contesto operativo (industria, ambienti subacquei, spazi confinati, ecc.) è necessario dotare il robot con accessori funzionali a portare a termine il lavoro nel modo più opportuno in base al tipo di materiale da rimuovere e in base ai vincoli del contesto operativo (per esempio: presenza di passaggi con accesso stretto, materiali calcificati, ecc.). Per l'utilizzo di sistemi automatizzati si può fare riferimento a testi specifici dedicati alle procedure e requisiti per operare con queste tipologie di macchine.¹² Il robot, nel caso sia utilizzato per aspirare il materiale, avrà anche un tubo collegato direttamente a un'unità di aspirazione posta nelle vicinanze (autospurgo, aspiratore a risucchio o pompa volumetrica).

Nelle seguenti figure, sono illustrate le diverse tipologie di allestimento, distinguendo l'uso di escavatori a risucchio (aspirazione pneumatica), autospurghi (aspirazione sottovuoto) o pompe volumetriche (a bordo macchina o esterne).

Figura 18 – Autospurgo

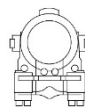
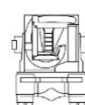


Figura 19 – Escavatore a risucchio



¹² "Guide about the use of automation in industrial cleaning", EWJI, ISBN 978-84-18761-76-8, March 2022.

Figura 20 – Pompa esterna



Figura 21 – Robot

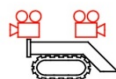


Figura 22 – Robot con pompa a bordo



Figura 23 – Unità di potenza

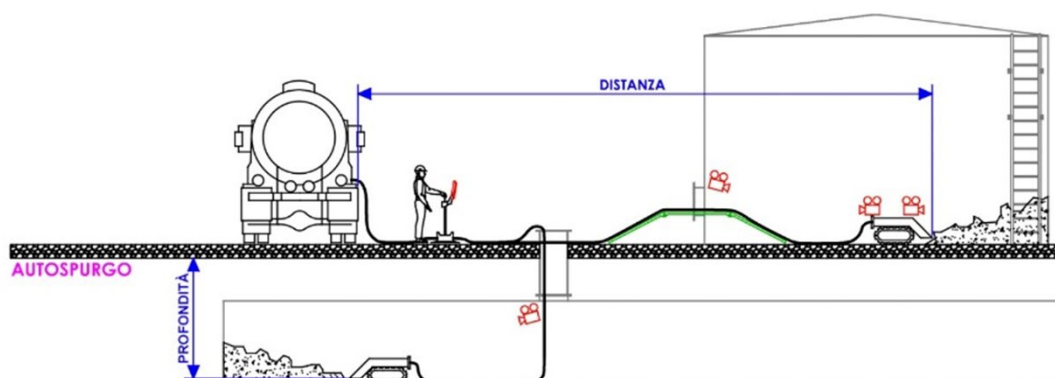


Figura 24 – Postazione operatore



Di seguito le figure che illustrano gli schemi di allestimento per le aspirazioni e i prospetti con le relative misure massime di aspirazione.

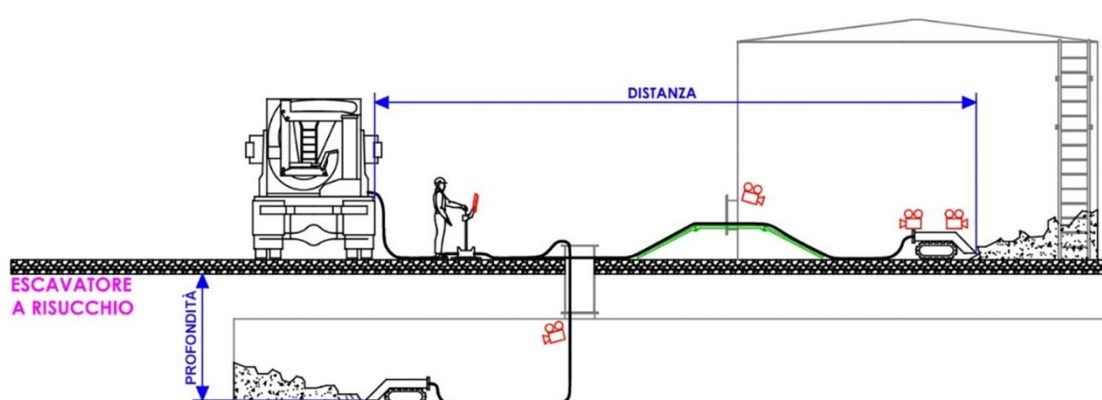
Figura 25 – Schema di allestimento cantiere con robot e camion autospurgo



Prospetto 13 - Misure massime di aspirazione sottovuoto

DISTANZE E PROFONDITA' DI ASPIRAZIONE		
Tecnologia	Distanza	Profondità
	[mt]	
Autospurgo	200	9

Figura 26 – Schema di allestimento cantiere con robot e camion ad aspirazione pneumatica (escavatore a risucchio)

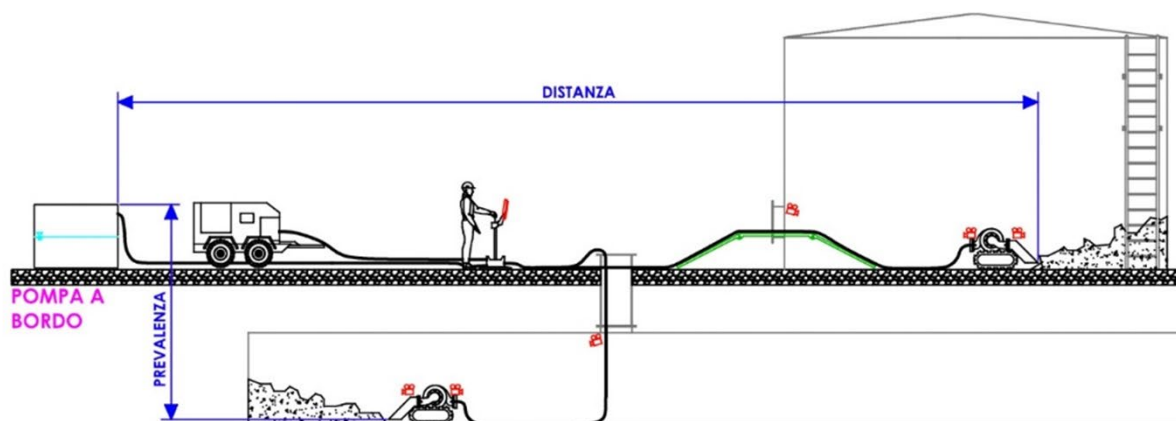


Prospetto 14 - Misure massime di aspirazione pneumatica

Tecnologia	Turbine	Distanza	Profondità
		[mt]	
Escavatore a risucchio	Tre turbine	150	50
	Due turbine	120	45
	Una turbina	70	15

Di seguito le figure che illustrano gli schemi di allestimento per le pompe montate a bordo e le pompe esterne e i prospetti con le relative distanze massime di aspirazione.

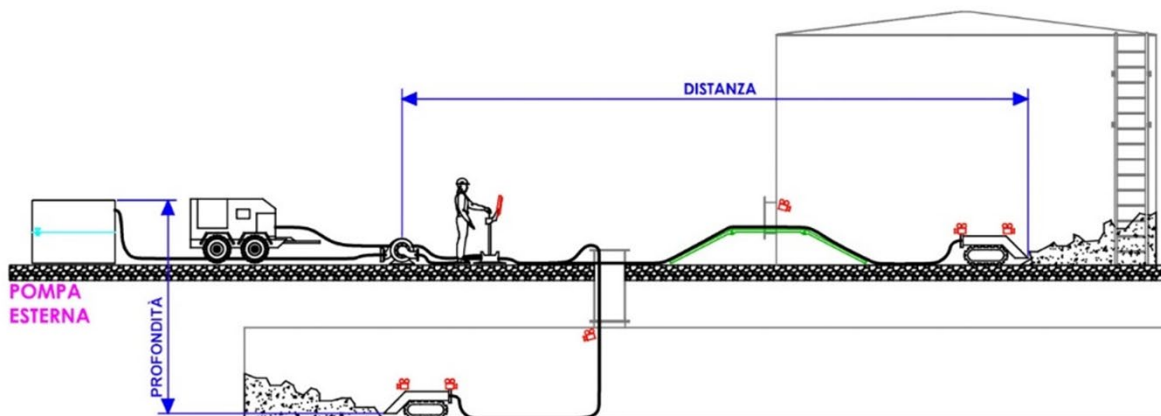
Figura 27 – Schema di allestimento cantiere con robot dotato di pompa montata a bordo



Prospetto 15 - Distanze massime di aspirazione con pompa a bordo del robot

Tecnologia	Tipologia	Distanza	Prevalenza
			[mt]
Pompa	Centrifuga (3 bar)	100	20
	Volumetrica (5 bar)	150	40
	Volumetrica (10 bar)	250	80

Figura 28 – Schema di allestimento cantiere con robot e pompa esterna



Prospetto 16 - Distanze massime di aspirazione con pompa esterna

Tecnologia	Tipologia	Distanza	Profondità
			[mt]
Pompa	Centrifuga (3 bar)	100	9
	Volumetrica (5 bar)	150	9
	Volumetrica (10 bar)	250	9

8.3 ALLESTIMENTO CANTIERE ATEX

Gli interventi di manutenzione all'interno di contesti industriali che ricadono all'interno della legislazione europea vigente ATEX¹³, devono seguire una regolamentazione ancora più stringente per quanto riguarda la costruzione dei macchinari e il loro utilizzo in loco. L'attenzione verso i temi della sicurezza, infatti, comporta per i costruttori che gli elementi costitutivi di un sistema debbano essere adeguati a operare in ambienti con un'alta probabilità di incendio o esplosione. Da questo discende la necessità di usare materiali antiscintilla, eliminare potenziali sistemi che producano cariche elettrostatiche, ecc. Inoltre, la configurazione del cantiere deve attenersi scrupolosamente ai dettami della legislazione europea vigente ATEX. Brevemente, nel seguente elenco viene riassunta la collocazione dei vari elementi citati nel paragrafo precedente (unità di potenza, unità di controllo e robot).

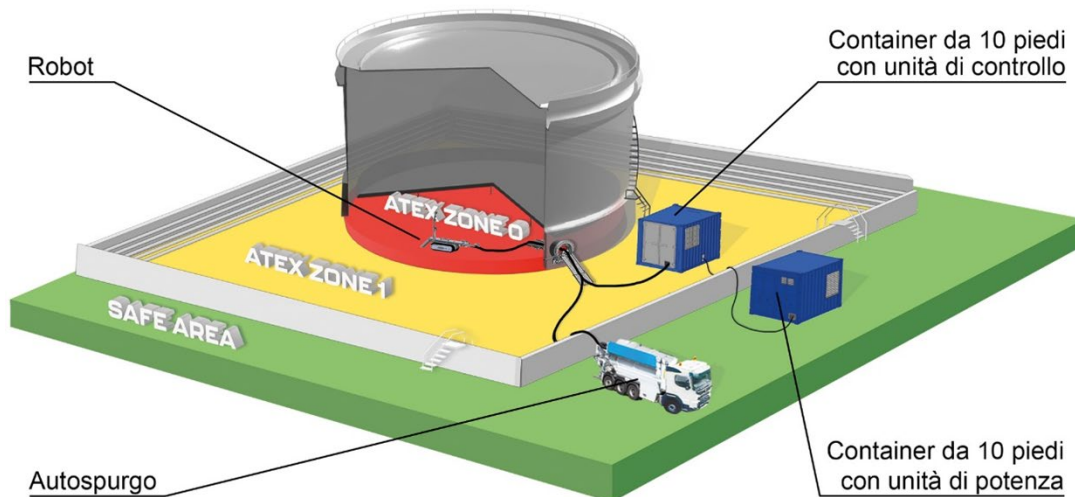
Al fine di chiarire le distinzioni delle zone ATEX si rimanda alla legislazione europea vigente ATEX di riferimento. In forma sintetica, si fa qui riferimento a una sintesi utile a far comprendere come l'allestimento di un cantiere debba adattarsi alle prescrizioni normative in tema di ambienti esplosivi.

La legislazione vigente a livello europeo ATEX, infatti, definisce tre zone:

- zona 0: area in cui è presente spesso, in modo continuo o per lunghi periodi, un'atmosfera esplosiva che consiste in una miscela con l'aria di sostanze pericolose sotto forma di gas, vapori o nebbie;
- zona 1: area in cui, durante le normali attività, è probabile occasionalmente la formazione di un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela con aria di sostanze pericolose sotto forma di gas, vapori o nebbie;
- safe area: area in cui, durante le normali attività, è improbabile la formazione di un'atmosfera esplosiva, consistente in una miscela con l'aria di sostanze pericolose sotto forma di gas, vapori o nebbie, oppure, nel caso si verificasse persiste solo per un breve periodo.

¹³ Direttiva ATEX 2014/34/UE "Concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva".

Figura 29 – Schema di allestimento cantiere in zone a rischio esplosione (ATEX)



9 CARATTERISTICHE DELLE TUBAZIONI UTILIZZATE

9.1 IDENTIFICAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TUBI

Al fine della caratterizzazione univoca delle dimensioni e delle prestazioni meccaniche delle tubazioni impiegate, queste vengono identificate secondo i criteri stabiliti dalla prassi di riferimento UNI/PdR 97:2020 dedicata alle tecniche di aspirazione pneumatica. In particolare, devono essere considerate con particolare attenzione alcune caratteristiche che impattano in modo sostanziale sulle possibili applicazioni delle tecnologie robotiche.

9.2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MECCANICHE DEI TUBI

I vari diametri che caratterizzano la tubatura (diametro nominale, interno ed esterno) hanno un'importanza fondamentale perché concorrono a definire le dimensioni finali e gli ingombri del robot. Questo è un elemento fondamentale da tenere in considerazione perché l'accesso agli spazi confinati avviene attraverso passi d'uomo o pozzetti che sono di dimensioni ridotte rispetto a quelle degli spazi confinati (cisterne, tubature, condotte) dove andranno ad operare. Oltre alle caratteristiche geometriche, devono essere considerate le qualità meccaniche (resistenza allo schiacciamento e alla deformazione anulare), nonché le caratteristiche meccaniche del materiale di costruzione del tubo (peso specifico, resistenza alla trazione, resistenza alla compressione, modulo di elasticità al tempo, modulo di elasticità a lungo periodo, modulo di elasticità trasversale, temperatura limite di utilizzo, coefficiente di dilatazione termica). Queste caratteristiche devono essere prese in considerazione perché determinano, e sono influenzate allo stesso tempo, la movimentazione del robot e la sua manovrabilità.

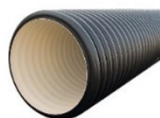
9.3 CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL MATERIALE DI COSTRUZIONE DEI TUBI

Le tubazioni sono il tramite di collegamento fra i robot e il sistema di aspirazione del materiale (che può essere un'unità mobile, come un escavatore a risucchio o un autospurgo, oppure un impianto di

aspirazione centralizzato o pompe). Sono riportate di seguito le tipologie di tubazioni di normale utilizzo. Per le specifiche di dettaglio:

- tubi in plastica rigida e in plastica flessibile morbida
- tubazione in polietilene, nelle versioni monoparete (morbida o flessibile) e doppia parete (rigida), solitamente con diametro esterno da Ø 160, 200 o 250 [mm] (ma anche in altre dimensioni), in barre da 6 metri o rotoli da 25-30 metri, utilizzata per numerose tipologie di materiali. In alcuni casi può generare cariche elettrostatiche che devono essere gestite in caso di ambienti classificati Atex.

Figura 30 – Tubo in plastica



- Tubazione in PVC rigido
- tubazione in polivinilcloruro atossico in barre rigide utilizzata nel campo delle ristrutturazioni per l'alta resistenza al passaggio di detriti e calcinacci in materiale cementizio o roccioso.

Figura 31 – Tubo in pvc



- Tubazione in gomma conduttiva
- tubazione in materiale elastomerico flessibile con strati interni in materiale vario, con la quale solitamente è realizzato il braccio della macchina aspirante. Può essere utilizzata come prolunga. Possiede un'altissima resistenza ed è elettricamente conduttiva.

Figura 32 – Tubo in gomma



- Spiralato in poliuretano a base estere
- tubazione ad alta resistenza migliorata, formato da una parete relativamente sottile di poliuretano a base etere sostenuta da una spirale metallica.

•

Figura 33 – Tubo in poliuretano



Per ogni tipologia di tubo, e di materiale, sono da considerare, in fase di capitolato, le caratteristiche meccaniche e le dimensioni per individuare la migliore opzioni in riferimento al lavoro da eseguire. Di seguito il prospetto 17 con valori indicativi.

Prospetto 17 - Comparazione tubazioni per aspirazione e pompaggio su robot

Tipo tubazione	Øint.	Sp.	Øest.	Peso	Vuoto	Pressione	R.Curvatura
-	[mm]	[mm]	[mm]	[Kg/m]	[bar]	[bar]	[mm]
Poliuretano	80	2,5	85	2	-0,9	6	300
	100	2,5	105	2,7	-0,9	5	400
	125	2,5	130	3,7	-0,9	4	600
	150	2,5	155	4,2	-0,8	3	700
	200	2,5	205	5,5	-0,4	2	1000
	250	2,5	255	7,3	-0,4	1	1250
PVC bassa pressione	80	6	92	2	-0,9	3	250
	100	7	114	2,7	-0,9	3	320
	125	8	141	3,7	-0,9	2	620
	150	9	168	5	-0,9	2	500
	200	12	224	8,5	-0,9	1	1100
PVC alta pressione	80	7	94	2,8	-0,9	10	220
	100	8	116	3,7	-0,9	10	300
Gomma bassa pressione	80	6,5	93	2,4	-0,9	4	300
	100	7,5	115	3,4	-0,9	4	400
	125	8	141	5	-0,9	4	550
	150	9	168	7	-0,9	4	700
Gomma alta pressione	80	7	94	3	-0,9	10	430
	100	7	114	2,7	-0,9	10	500
	125	9	143	6,5	-0,9	10	750
	150	11	172	9	-0,9	10	900
Polietilene Morbido	130	15	160	2,2	-0,4	0	1500
	170	15	200	2,5	-0,4	0	1500
	220	15	250	2,7	-0,4	0	1500
Polietilene Rigido	130	15	160	2,6	-0,6	0	\
	170	15	200	2,8	-0,6	0	\
	220	15	250	3	-0,6	0	\

Ogni tipologia di tubatura, inoltre, può essere adatta o meno al contatto con alcuni materiali o condizioni ambientali (per esempio la temperatura). Il prospetto 18 di seguito può essere uno strumento per identificare quale sia la tubatura più corretta per l'uso in cantiere.

Prospetto 18 - Comparazione materiale tubazioni

	Poliuretano	PVC Bassa pressione	PVC Alta pressione	GOMMA Bassa pressione	GOMMA Alta pressione	POLIETILENE Morbido	POLIETILENE Rigido
Temp. Min Materiale[°]	-40	-25	-25	-30	-30	-10	-20
Temp. Max Materiale	90	60	60	80	80	50	50
Resistenza all'usura	Idoneo	Limitato	Limitato	Idoneo	Idoneo	Non Idoneo	Non Idoneo
Contatto con Olio	Limitato	Non Idoneo	Idoneo	Idoneo	Idoneo	Non Idoneo	Non Idoneo
Contatto con Fognatura	Idoneo	Idoneo	Idoneo	Idoneo	Idoneo	Idoneo	Idoneo
Contatto con Acidi	Limitato	Limitato	Idoneo	Limitato	Limitato	Non Idoneo	Non Idoneo
Contatto con Basi	Limitato	Limitato	Idoneo	Limitato	Limitato	Non Idoneo	Non Idoneo
Antistatico	Limitato	Non Idoneo	Limitato	Idoneo	Idoneo	Non Idoneo	Non Idoneo
resistenza al fuoco	Limitato	Limitato	Limitato	Limitato	Limitato	Non Idoneo	Non Idoneo

Da ultimo, è da considerare se l'uso di una specifica tubatura è compatibile o meno, e in quale grado, con sistemi di aspirazione pneumatica, sistemi di aspirazione sottovuoto, sistemi di pompaggio. Il prospetto 19 di seguito può essere un riferimento che suggerisce una classificazione preliminare.

Prospetto 19 - Compatibilità delle tubazioni nelle varie applicazioni

	Poliuretano	PVC Bassa pressione	PCV Alta pressione	GOMMA Bassa pressione	GOMMA Alta pressione	POLIETILENE Morbido	POLIETILENE Rigido
Uso con Alto Vuoto	Limitato	Idoneo	Idoneo	Idoneo	Idoneo	Non Idoneo	Non Idoneo
Uno con Basso Vuoto	Idoneo	Idoneo	Idoneo	Idoneo	Idoneo	Idoneo	Idoneo
Uso in pompaggio Bassa Pressione	Limitato	Limitato	Idoneo	Idoneo	Idoneo	Non Idoneo	Non Idoneo
Uso in pompaggio Alta pressione	Non Idoneo	Non Idoneo	Idoneo	Non Idoneo	Idoneo	Non Idoneo	Non Idoneo
Movimentazione manuale	Limitato	Limitato	Limitato	Limitato	Limitato	Idoneo	Idoneo

9.4 OMBELICALI

All'interno della categoria delle tubazioni, l'ombelicale è un elemento decisivo per la corretta configurazione della tecnologia e per l'allestimento del cantiere: è deputato a connettere il robot con l'unità di controllo ed è costituito da tubazioni idrauliche che permettono di manovrare il robot tramite il pompaggio di olio idraulico e da tubazioni con cavi elettrici per gestire telecamere, luci LED, ugelli per il pompaggio ad alta pressione di acqua o detergenti chimici. Gli ombelicali possono essere di lunghezze diverse in base alla distanza fra il robot e la stazioni di comando dello stesso: questa distanza può variare in base alla logistica del sito oppure per rispettare le distanze previste dalle normative sulla sicurezza dell'impianto oppure dalla legislazione vigente ATEX di riferimento per lavorare in spazi a rischio esplosione. Nella scelta del tipo di ombelicale e del suo dimensionamento, è fondamentale analizzare il contesto operativo dal punto di vista logistico, dal punto di vista della situazione ambientale e dal punto di vista dei materiali con cui l'ombelicale può venire a contatto. Di seguito un esempio di check-list per individuare la corretta soluzione:

- materiali a contatto: qual è il PH, la temperatura, eventuali componenti abrasivi e taglienti, la possibilità di avere scariche elettrostatiche?

- Caratteristiche dell'ombelicale: deve poter galleggiare, deve poter essere avvolto, ci sono eventuali limiti di peso massimo dell'ombelicale stesso?
- Contesto: qual è la classificazione ATEX del cantiere? Che distanze deve coprire l'ombelicale per connettere il robot con l'unità di comando?

In base alla tipologia di robot – idraulico, pneumatico, elettrico – possono variare le dimensioni e le caratteristiche meccaniche come indicato dal prospetto 20 sottostante.

Prospetto 20 - Correlazione fra tipologie di robot e di ombelicali

TECNOLOGIA	Diametro Massimo	Peso per metro	Lunghezza Massima	Raggio di curvatura minimo	Temperatura ambiente Minima	Temperatura ambiente Massima
	[mm]	[Kg/m]	[m]	[m]	[°C]	[°C]
Idraulica	100	6	100	350	-40	80
Elettroidraulica	40	2	150	200	-20	50
Pneumatica	60	3	50	300	0	80
Elettronica Standard	20	1	200	100	-20	40
Elettronica con raffreddamento	20	1	200	150	-20	80

Nel caso di ambienti a rischio esplosione e quindi rientranti nell'ambito della legislazione europea vigente ATEX già citata, è importante capire quali componenti dell'ombelicale siano più adeguate, come indicato dal prospetto 21 sotto riportato.

Prospetto 21 - Idoneità Atex dei componenti di un ombelicale

COMPONENTI DELL' OMBELICALE	Variante	Idoneità Atex		
		Zona 0	Zona 1	Safe Area
Tubazione olio Idraulico	Isolante	NO	NO	NO
	Antistatica	SI	SI	SI
Tubazione Fluido di Lavaggio	Isolante	NO	NO	NO
	Antistatica	SI	SI	SI
Cavo elettrico per Alimentazioni	Sicurezza Intrinseca	SI	SI	SI
	Non Sicurezza Intrinseca	NO	SI	SI
Cavo elettrico per Segnali	Sicurezza Intrinseca	SI	SI	SI
	Non Sicurezza Intrinseca	NO	SI	SI
Guaina di protezione	Isolante	NO	NO	NO
	Antistatica	SI	SI	SI

9.5 CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI GIUNZIONE

Per raggiungere distanze e profondità importanti sono utilizzabili dei sistemi di giunzione che permettono di allungare le tubazioni. Queste necessità possono emergere per ragioni logistiche, qualora nel cantiere sia necessario seguire percorsi obbligati o superare ostacoli, oppure per ragioni di sicurezza, qualora il cantiere sia un ambiente ATEX per cui è necessario che le unità di potenza e i sistemi di aspirazione (escavatore a risucchio, autospurgo o pompe) siano a debita distanza dalle aree a più alto rischio di esplosione. Di seguito un breve elenco dei modi comunemente usati per giuntare due tubi:

- manicotti: segmenti plastici di giunzione passiva tra barre di tubazione in plastica.

Figura 34 – Manicotto



- Fascette metalliche: segmenti metallici di giunzione attiva (leve regolabili) tra barre di tubazione in plastica possono essere attrezzati per lo scarico a terra dell'energia elettrostatica.

Figura 35 – Fascette metalliche



- semi giunti flangiati: morsetti metallici di giunzione tra tubazioni spiralate in poliuretano a base estere.

Figura 36 – Giunti flangiati



10 ATTREZZATURE ACCESSORIE

Le tecnologie robotiche possono essere equipaggiate con una serie di opzioni di allestimento e di accessori che permettono di adattare la tecnologia alle esigenze dello specifico cantiere o impianto in cui vengono impiegati. Le caratteristiche della destinazione d'uso possono essere suddivise in caratteristiche del materiale da asportare e caratteristiche del contesto operativo. I robot possono rimuovere qualsiasi tipo di materiale liquido, melmoso o solido e può rendersi necessario l'impegno di accessori per disgregare e fluidificare le masse da asportare siano esse costituite da residui solidificati o compattati. Il contesto operativo (come la presenza di spazi confinati a rischio esplosione, condotte lunghe, ambienti subacquei) comporta inoltre la scelta di alcuni accessori che sono in grado di rendere efficaci ed efficienti sia la manovrabilità delle macchine sia la capacità di aspirare materiale. Alcune attrezzature sono parte integrante del robot e quindi devono essere previste in fase di progettazione della macchina. Altri accessori, invece, fanno riferimento a esigenze di gestione del cantiere come, per esempio, i sistemi di tracciamento.

Di seguito le attrezzature accessorie di riferimento e le relative figure:

- accessori frontali: i robot possono essere equipaggiati con accessori frontali agganciati al corpo macchina, solitamente attraverso flange. Servono a facilitare le operazioni di disgregazione del materiale o a favorirne il loro convogliamento verso il sistema di aspirazione grazie a diverse forme e materiali costruttivi.

Figura 37 – Tubo aspirazione frontale



- Benna: per le operazioni di rimozione e di movimentazione di materiale i robot possono essere equipaggiati con benne frontali di diverse grandezze e materiali e che permettono di usare il robot come un mini-escavatore comandato da remoto.

Figura 38 – Benna frontale



- Spazzole: le spazzole possono essere utilizzate per spazzare superfici piane o in ambienti subacquei, grazie alla rotazione, sia oraria che antioraria, riescono a smuovere diversi materiali tipo polveri, pulviscolo, sabbie.

Figura 39 – Spazzola per rimozione sabbie



- Coclee: gli auger sono delle trivelle cilindriche, applicabili frontalmente, che permettono di disgregare materiali particolarmente compatti o incrostati; possono essere in acciaio inossidabile, bronzo, acciaio Hardox, bronzo antiscintilla specifico per il lavoro in zone ATEX.

Figura 40 – Coclea o Auger in acciaio



- Sistemi di trazione: I robot utilizzano diversi sistemi di trazione attraverso cingoli. In base alle esigenze applicative, possono essere cingoli gommati, cingoli in gomma e acciaio inox oppure cingoli magnetici che permettono di operare anche su superfici metalliche inclinate o scivolose.

Figura 41 – Cingoli gommati



- **Luci:** le luci sono elementi essenziali, insieme alle telecamere, per poter monitorare le operazioni di aspirazione in spazi confinati. In base alla tipologia di cantiere o impianto, le luci possono essere luci a led standard oppure certificate per essere utilizzate in ambiti ATEX.

Figura 42 – Luci LED



- **Telecamere:** le telecamere possono essere utilizzate sia per ispezioni sia per filmare le operazioni. Inoltre, le immagini possono essere utilizzate come documentazione ex post del lavoro svolto. Possono essere telecamere standard fisse oppure a testa motorizzata con la possibilità di orientare l'inquadratura da remoto. Possono essere montate telecamere di diverse tipologie (analogiche, HD o LD, sommergibili, Atex Zona 1 e Atex Zona 0) in grado di lavorare a contatto con diversi tipi di materiali compresi le nuove tipologie di fonti energetiche (per esempio idrogeno) che sono al centro della transizione energetica dei mercati. A livello di costruzione, le telecamere possono essere dotate di sistemi di protezione IP e con configurazioni diverse (Pan&Tilt, Zoom integrato, autofocus, con illuminazione integrata, ecc.).

Figura 43 – Telecamera ATEX



- **Ugelli per acqua in alta pressione:** laddove siano presenti incrostazioni difficili da asportare i robot possono essere equipaggiati con ugelli in grado di pompare liquidi ad alta pressione in modo da diluire o sciogliere residui di materiali depositati nelle pareti di cisterne, condotte o tubazioni. Gli ugelli possono spruzzare sia acqua sia, eventualmente, prodotti di sintesi o solventi per affiancare alla potenza fisica della pressione del liquido, l'efficacia dell'attivazione di reazioni chimiche nei confronti dei materiali, fluidi o melmosi, da rimuovere.

Figura 44 – Ugelli frontali



- Tergi superfici: accessori costituiti da due bracci meccanizzati in grado di raccogliere il materiale residuo su superfici lisce. Grazie alla possibilità di variare l'angolo di apertura fra i due bracci (da 90° a 0°) permette di avere massima aderenza alla superficie e di convogliare il materiale nel punto di aspirazione del robot.

Figura 45 – Tergi superfici (Squeegee)



- Nastri trasportatori integrati: per applicazioni in ambito minerario, alcuni robot hanno la possibilità di scaricare il materiale aspirato su nastri trasportatori (eventualmente collegati in serie per raggiungere il punto di raccolta del materiale) invece che aspirarlo all'interno della tubazione che è solitamente connessa a un autospurgo o a un escavatore a risucchio.

Figura 46 – Robot con nastro trasportatore integrato



- Sistemi di tracciamento: per i modelli di robot che possono lavorare in ambienti subacquei sono da considerare degli elementi accessori per le segnalazioni di sicurezza (bandiere segnaletiche, galleggianti ecc.).

Figura 47 – Bandierina di segnalazione in acqua



- Zavorre o galleggianti: al fine di stabilizzare il movimento dei robot o di variare il baricentro per compensare la distribuzione della massa, alcuni robot possono avere delle zavorre in grado di appesantire il veicolo. Soprattutto in ambito subacqueo, i galleggianti permettono di evitare l'affondamento parziale della macchina e quindi la sua ottimale immersione per l'aspirazione dei materiali.

Figura 48 – Zavorra per cingoli



- Naspo arrotolatori: la congiunzione fra robot e centraline idrauliche e il sistema di aspirazione industriale, avviene tramite fasci di cavi e tubazioni che vengono chiamati, in gergo tecnico, ombelicali. Il loro avvolgimento, per favorirne il trasporto e la manovrabilità, avviene attraverso arrotolatori e naspi che, in base alla lunghezza delle tubazioni e al contesto operativo possono variare nelle dimensioni ed essere motorizzati o manuali.

Figura 49 – Naspo per ombelicale



- Rampe di accesso: l'accesso a cisterne e pipelines avviene attraverso aperture chiamate passi d'uomo. Il loro diametro (solitamente dai 450 ai 600 mm) impone che i robot abbiano dimensioni compatte per passare attraverso questi punti di accesso. Per favorire l'ingresso di questi robot sono necessarie delle rampe che devono essere montate sia sul lato esterno sia sul lato interno del passo d'uomo: questo consente un ingresso agevole del macchinario che verrà accompagnato nella discesa all'interno dello spazio confinato.

Figura 50 – Rampa per accesso cisterne



Il singolo accessorio deve essere scelto in base alla tipologia di robot a cui deve essere abbinato – idraulico, pneumatico o elettrico – e, nel caso di ambienti Atex, al livello di sicurezza richiesto. Il prospetto 22 seguente propone una lista (non esaustiva) di possibili accessori e della loro idoneità a lavorare con i vari tipi di robot e di ambienti.

Prospetto 22 - Matrice di applicazione degli accessori

ACCESSORI							
		Tecnologia Idonea			Idoneità Atex		
		Idraulica	Pneumatica	Elettrica	Zona 0	Zona 1	Safe Area
Scavo	Benna di scavo	SI	NO	NO	SI	SI	SI
	Benna mordente	SI	NO	NO	SI	SI	SI
Demolizione	Martello demolitore	SI	SI	NO	SI	SI	SI
	Fresa a denti	SI	NO	NO	SI	SI	SI
	Fresa a coclea	SI	NO	NO	SI	SI	SI
	Coclea bronzo	SI	NO	NO	SI	SI	SI
	Coclea acciaio	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Aspirazione	Ugello circolare	SI	NO	NO	NO	SI	SI
	Ugello a lama	SI	NO	NO	NO	SI	SI
	Ugello con trivella rotante	SI	NO	NO	NO	SI	SI
	ugello con corona fresante	SI	NO	NO	NO	SI	SI
	Tergisuperfici	SI	NO	NO	NO	SI	SI
	Spazzole	SI	NO	NO	NO	SI	SI
Lavaggio	Ugello alta portata	NO	NO	NO	SI	SI	SI
	Ugello bassa portata	NO	NO	NO	SI	SI	SI
	Ugelli direzionabili	NO	NO	NO	SI	SI	SI
Video ispezione	Luci LED	NO	NO	SI	SI	SI	SI
	Telecamere	NO	NO	SI	SI	SI	SI
Stabilizzazione	Zavorre/contrappesi	NO	NO	NO	SI	SI	SI
	Galleggianti	NO	NO	NO	SI	SI	SI
Logistica	Rampe di accesso	SI	NO	NO	SI	SI	SI
	Arrotolatori	SI	NO	NO	SI	SI	SI
	Sistemi di tracciamento	SI	NO	NO	SI	SI	SI

11 SICUREZZA E SOSTENIBILITÀ

La possibilità di usare almeno una delle tecnologie robotiche analizzate nella presente prassi trova la sua ragione nella volontà di innalzare il livello di sicurezza dei settori in cui viene applicata per garantire che le persone lavorino senza il rischio di infortuni o incidenti mortali. Questo è coerente con un'attenzione sempre più alta da parte di istituzioni, aziende committenti (pubbliche o private) e operatori del settore verso il tema della salute e sicurezza delle persone. Oltre al rischio concreto di

infortuni, infatti, esiste anche un rischio di sviluppare malattie professionali per essere stati esposti a sostanze pericolose, nel medio lungo termine, per l'uomo¹⁴.

Oltre agli aspetti legati alla sicurezza, l'utilizzo di tecnologie robotiche ha una rilevanza anche dal punto di vista dell'impatto ambientale. La possibilità di utilizzare i robot all'interno di ambienti con la presenza di gas infiammabili – senza dover procedere con lunghe operazioni di degassificazione e messa in sicurezza degli spazi – consente di ridurre i tempi di intervento e i fermi macchina; inoltre, nel caso di robot subacquei è possibile intervenire con gli impianti in funzione senza dover svuotare invasi o cisterne dall'acqua, con un evidente risparmio di risorse idriche. Per quanto riguarda gli interventi nelle opere civili – fognature, condotte, ecc – l'uso di robot permette di conservare intatto il patrimonio naturale, architettonico e urbanistico a differenza di tecnologie alternative che impiegano scavi a cielo aperto e con tecniche più invasive che impattano in modo rilevante sul contesto ambientale. Questi fattori, uniti a molti altri che potranno essere implementati in futuro, concorrono a inserire le tecnologie robotiche nell'impianto concettuale dei 17 obiettivi dell'agenda delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Sostenibile.

¹⁴ Sono numerose le Convenzioni Internazionali sulla tutela della salute dei lavoratori. A titolo di esempio, quelli dell'Organizzazione Internazionale del Lavoro (ILO): **C155 - Convenzione sulla salute e la sicurezza dei lavoratori, 1981**(ILO); C170 - Convenzione sui prodotti chimici, 1990; C174 - Convenzione sulla prevenzione degli incidenti industriali maggiori, 1993.

BIBLIOGRAFIA

- [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] UNI EN 91829 1:2021
- [16] Linee Guida Nazionali per la videoispezione e codifica condizioni reti fognarie
- [17] <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] UNI EN ISO 10218-2:2011 - Le isole robotizzate applicazione della norma
- [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)