

## MODELLO TERRITORIALE DI INTERVENTO INTEGRATO IN MATERIA DI SALUTE E SICUREZZA RIVOLTO ALLE IMPRESE CHE OPERANO IN AREE PORTUALI. ATTIVITÀ DI INNOVAZIONE TECNOLOGICA

### INTRODUZIONE

Nell'ambito della ricerca *Salute e sicurezza dei lavoratori nelle aree portuali*, un'attenzione particolare è stata dedicata all'applicazione di tecnologie innovative, quali deep learning applicato alle immagini e reti di sensori

indossabili, e alla valutazione di due rischi comuni in ambito portuale: il rischio di interferenza e il rischio da sovraccarico biomeccanico, che impattano, rispettivamente, sulla sicurezza e sulla salute dei lavoratori. All'interno del progetto è stata fatta una valutazione sull'applicabilità di queste tecnologie.

### OBIETTIVI SPECIFICI

Nell'ambito della valutazione delle tecnologie, sono stati perseguiti tre obiettivi:

1. **valutazione delle tecnologie utilizzate all'interno della rete di progetto**, di quelle usate all'esterno e di quelle potenzialmente applicabili per la gestione e l'esecuzione di attività mirate alla sicurezza in ambito marittimo e portuale;
2. **valutazione dei flussi di veicoli e persone in aree portuali, con relativa valutazione del rischio di interferenza**;
3. **valutazione del rischio ergonomico da sovraccarico biomeccanico** tramite sensori indossabili.

### VALUTAZIONE DELLE TECNOLOGIE APPLICABILI ALLA SALUTE E SICUREZZA IN AMBITO PORTUALE

Nell'ambito del progetto sono state censite le problematiche di valutazione del rischio e di gestione delle attività di prevenzione all'interno della rete di porti partecipanti al progetto. Le problematiche individuate sono state raggruppate in problematiche di rischio e problematiche di gestione. Le prime includono il rischio di interferenza, la movimentazione manuale dei carichi, l'esposizione a sostanze tossiche, la manutenzione dei mezzi meccanici, la sicurezza sui pescherecci con particolare riguardo alle attrezzature e ai dispositivi di protezione individuale (DPI) più avanzati per la gestione delle emergenze (caduta e recupero uomo a mare). Le seconde comprendono la gestione del rischio, la formazione e il coordinamento delle attività portuali.

Queste criticità sono state analizzate individuando le tecnologie adottate all'interno della rete di progetto, quelle che sono adottate in porti non appartenenti alla rete (italiani e non) e quelle che sono potenzialmente adottabili.

Per ciascuna di queste problematiche sono stati raccolti gli strumenti (documentazione tecnica, check list, protocolli, metodologie e modelli, ecc.) e le tecnologie

già presenti nella rete oltre a estendere l'analisi ad altri porti che possono essere considerati di riferimento per quel che riguarda l'implementazione di tecnologie all'avanguardia correlate con la salute e la sicurezza sul lavoro (SSL). Come ulteriore estensione dell'analisi, sono state considerate tutte quelle tecnologie che ad oggi non sono usate in ambito marittimo e portuale ma che sono potenzialmente applicabili alle problematiche individuate.

Le soluzioni individuate sono state organizzate nelle seguenti famiglie:

1. documentazione tecnica;
2. supporti multimediali;
3. piattaforme web;
4. sensorizzazione;
5. simulatori, realtà virtuale e aumentata.

Le soluzioni già adottate includono l'uso di simulatori (ad esempio per la guida), soluzioni per l'automazione o la remotizzazione di processi (ad esempio ro-ro di container) e sensorizzazione per il rilevamento di merci pericolose. Fra le soluzioni adottate esternamente alla rete si citano piattaforme integrate per la gestione degli accessi tramite sensorizzazione dei veicoli e sistemi di ormeggio idraulico per prevenire la rottura dei cavi ormeggio, mentre fra le soluzioni non ancora adottate in ambito portuale segnaliamo l'uso di reti neurali da applicare a sistemi di sorveglianza tramite camere, l'uso di esoscheletri per la mitigazione del carico biomeccanico e l'uso di reti di sensori indossabili per la valutazione di detto rischio.

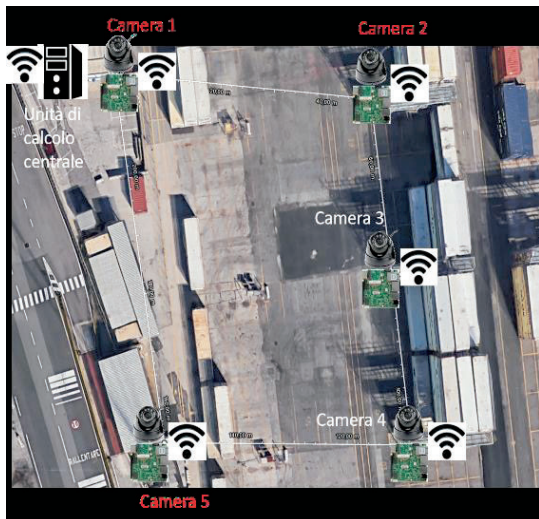
### VALUTAZIONE DEI FLUSSI DI VEICOLI E PERSONE IN AREE PORTUALI

Per monitorare la probabilità di collisione, le aree selezionate sono dotate di telecamere che consentono di ottenere flussi video sincronizzati. Dopo una procedura iniziale di calibrazione basata su marker Aruco e *Structure from motion*, è possibile ottenere una stima della posizione degli oggetti identificati in 3D tramite triangolazione. Algoritmi di *machine learning* vengono applicati a tali immagini per identificare persone e veicoli. Queste informazioni vengono utilizzate per monitorare i comportamenti dei veicoli e delle persone all'interno dell'area e fornire un indice di rischio. Scelta l'area da monitorare, vengono scelti il numero di camere e le ottiche di ciascuna camera affinché tutta l'area da monitorare abbia una densità di pixel sufficiente al riconoscimento di veicoli e persone, ma insufficiente all'identificazione della persona.

Ogni camera è collegata a una unità di calcolo locale per la sincronizzazione e lo storage dei video, che vengono poi trasmessi a una unità centrale via wireless.

Figura 1

Schema della disposizione delle camere



(Scuola superiore di studi universitari e di perfezionamento Sant'Anna, Istituto TeCIP)

Figura 2

Schema del processing dei dati



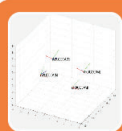
Acquisizione locale

- Registrazione immagini
- Trasmissione all'unità centrale



Processing immagini

- Yolo per object detection (finalizzato ai veicoli)
- Algoritmo di motion tracking dell'umano basato su Openpose (rete convoluzionale) e Lucas-Kanade
- Algoritmo di path prediction



Calibrazione e triangolazione

- Calibrazione multicamera all'installazione basata su marker Aruco e Structure from Motion
- Ricostruzione 3d degli oggetti e dei path ottenuti al passo precedente



Analisi globale dei risultati

- Valutazione della probabilità di interferenza
- Rappresentazione fruibile per le aziende

(Scuola superiore di studi universitari e di perfezionamento Sant'Anna, Istituto TeCIP)

Dopo i necessari test in laboratorio, il sistema è stato specializzato su una banchina selezionata per la presenza contemporanea di camion, ruspe e persone dedicate ad attività lavorative differenti. L'area misura 100 x 40 m ed è adiacente al mare.

L'installazione prevede l'utilizzo delle torri faro esistenti con unità di calcolo centrale in loco e collegamento via internet per il controllo remoto. Il sistema è composto di 5 camere collegate via USB a unità di calcolo UP-board dotate di dongle wi-fi per la connessione all'unità centrale. Terminata l'installazione si avvierà l'acquisizione delle immagini e la loro analisi.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO ERGONOMICO DA SOVRACCARICO BIOMECCANICO

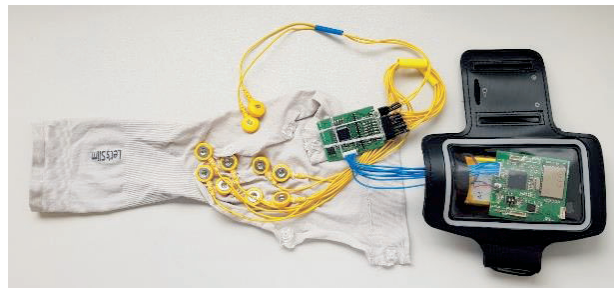
Lo scopo di questa attività è stato valutare l'applicabilità di reti di sensori indossabili alla valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico in ambito portuale. Dall'analisi degli standard ISO per la valutazione del rischio ergonomico emerge la necessità di misurare le variabili articolari e gli spostamenti di alcune parti del corpo umano, unita alla valutazione dei carichi trasportati e dello sforzo fatto dal lavoratore.

La rete di sensori è composta da unità inerziali, che permettono la ricostruzione della postura e quindi del movimento, e da sensori di elettromiografia di superficie (EMG), che permettono di individuare le fasi in cui i distretti muscolari sensorizzati sono attivi e il livello di sforzo.

La valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico si è basata sui metodi delle norme ISO 11226 e 11228. I metodi indicati richiedono la misura di variabili che possono essere ottenute tramite reti di sensori indossabili composte da sensori inerziali (IMU) e sensori elettromiografici (EMG).

Figura 3

Dispositivo sviluppato per la cattura del segnale elettromiografico



(Scuola superiore di studi universitari e di perfezionamento Sant'Anna, Istituto TeCIP)

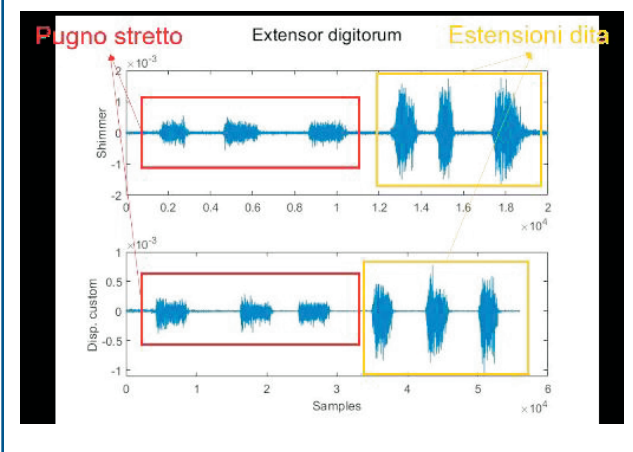
Sono state valutate tre soluzioni per la cattura del movimento tramite IMU: una custom già sviluppata in laboratorio, una commerciale a basso costo e lo standard commerciale a più elevata qualità.

Come risultato delle attività, è stato ottenuto un algoritmo innovativo per la stima delle misure antropometriche che permette un sensibile miglioramento della stima (circa il 10%).

L'applicazione dei tre sistemi in ambienti con notevole presenza di acciaio ha portato alla conclusione che solo il sistema commerciale a più elevata qualità è applicabile alle attività portuali. Gli altri due sistemi non riescono a ricostruire la postura a causa della forte distorsione del campo magnetico terrestre.

Allo stesso tempo sono stati confrontati sette dispositivi EMG, portando alla selezione di due sistemi per il basso costo e le prestazioni paragonabili agli altri: uno custom sviluppato in laboratorio e l'altro commerciale. Dal confronto dei due sistemi è emersa una qualità del segnale paragonabile a fronte di un vantaggio della soluzione custom nel range di trasmissione del dato.

**Figura 4** Confronto tra i segnali dei due sensori EMG selezionati

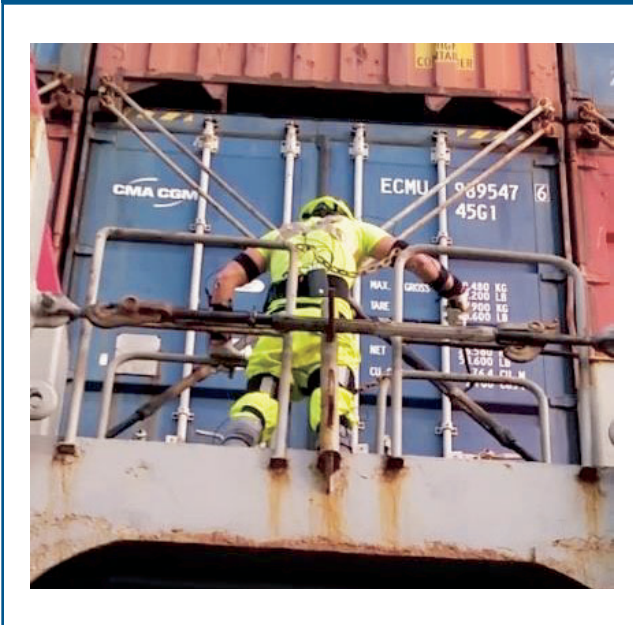


(Scuola superiore di studi universitari e di perfezionamento Sant'Anna, Istituto TeCIP)

Sono state poi realizzate la mappatura delle variabili cinematiche e l'elaborazione del segnale EMG per l'implementazione dei metodi NIOSH, Snook e Ciriello, Strain Index e REBA (*Rapid entire body assessment*), che sono stati utilizzati per la valutazione del rischio ergonomico.

La sperimentazione dell'attività si è quindi focalizzata sui ro-ro di container e di semirimorchi nei porti di Livorno e Mestre.

**Figura 5** Sensorizzazione dell'operatore di rizzaggio-derizzaggio del ciclo container



(Scuola superiore di studi universitari e di perfezionamento Sant'Anna, Istituto TeCIP)

L'attività ha coinvolto 12 operatori per oltre 7 ore di dati registrati e analizzati. Per ogni operatore è stata effettuata la segmentazione delle attività a livello di fase, ottenendo oltre 2.000 fasi analizzate. I risultati dell'analisi sono in linea con valutazioni analoghe fatte con le misure tradizionali basate sull'osservazione di

filmati. La coerenza dei risultati è riscontrata anche per le attività ad alta frequenza dove sia il metodo REBA sia l'OCRA (*Occupational repetitive actions*) hanno indicato un livello di rischio simile. La ripetizione della misura su più soggetti ha mostrato una certa variabilità per quel che riguarda le variabili cinematiche e cinetiche, con variazioni anche del 45% rispetto ai valori massimi, e variazioni dell'indice di rischio fino al 43% del valore massimo con un solo caso in cui la variazione ha portato una variazione di classe della fase. I risultati ottenuti hanno contribuito alla redazione delle linee guida per le attività di roll-on roll-off nel porto di Livorno.

**Figura 6** Sensorizzazione dell'operatore di rizzaggio-derizzaggio del ciclo ro-ro



(Scuola superiore di studi universitari e di perfezionamento Sant'Anna, Istituto TeCIP)

#### PER ULTERIORI INFORMAZIONI

m.pellicci@inail.it

#### BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE E SITOGRAFIA

- Filippeschi A, Pellicci M, Vanni F et al. The Sailport Project: a trilateral approach to the improvement of workers' safety and health in ports In Pedro M. Arezes (ed). Advances in safety management and human factors. Proceedings of the AHFE 2019 International conference on safety management and human factors; Washington DC, Usa, 24 - 28 luglio 2019. Cham: Springer, 2019. 69-80
- Filippeschi A, Ruffaldi E, Peppoloni L et al. Online calibration procedure for motion tracking with wearable sensors using Kalman filtering In: Lenarcic J, Parenti-Castelli V (eds). International symposium on advances in robot kinematics. Cham: Springer; 2018. 440-448.
- Landolfi L, Tripicchio P, Filippeschi A et al. Fast and fluid human pose tracking In 2019 IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics; Irkutsk, Russia, 4 - 9 agosto 2019. IEEE, 2019. 24-29.
- Filippeschi A, Landolfi L, Bassani G et al. Tecnologie per la valutazione e la mitigazione del rischio ergonomico in ambito marittimo e portuale In Atti di Convegno 'Prevenzione e Sicurezza in un sistema complesso: le attività portuali'; Venezia, 21 settembre 2019. Milano: Tipolitografia Inail, 2019.

#### PAROLE CHIAVE

*Rischio interferenza; Rischio ergonomico da sovraccarico biomeccanico; Tecnologie; Sensori indossabili.*