

Interazione uomo-macchina: per una collaborazione a basso rischio

Chiara Cappelletti
10 giugno 2025

Rischi dovuti a elementi mobili

Regolamento (UE) 2023/1230 (allegato III, §1.3.7)

- È necessario tenere conto dei **rischi** e dello **stress psicologico** in caso di **condivisione dello spazio di lavoro** tra uomo e macchina e di **interazione** uomo-macchina.
 - *La prevenzione di rischi derivanti da contatto che determinano **situazioni di pericolo** e le **tensioni psichiche** che possono essere causate dall'interazione con la macchina deve essere adeguata in relazione a:*
 - **coesistenza uomo-macchina in uno spazio condiviso** in assenza di collaborazione diretta;
 - **interazione** uomo-macchina.



Robot

Nuove norme di riferimento

NORMA EUROPEA

UNI EN ISO 10218-1

APRILE 2025

Robot e attrezzature per robot – Requisiti di sicurezza per robot industriali – Parte 1: Robot

Robotics – Safety requirements – Part 1: Industrial robots

NORMA EUROPEA

UNI EN ISO 10218-2

APRILE 2025

Robot e attrezzature per robot – Requisiti di sicurezza per robot industriali – Parte 2: Sistemi ed integrazione di robot

Robotics – Safety requirements – Part 2: Industrial robot applications and robot cells

Robot collaborativi

UNI EN ISO 10218-2:2025 (introduzione)

- I requisiti riguardanti i robot collaborativi, in precedenza contenuti nell'ISO/TS 15066:2016, sono stati incorporati nella norma UNI EN ISO 10218-2:2025, modificandoli dove necessario.
- Non è più utilizzato il termine “robot collaborativo” ma bensì “**applicazione collaborativa**”.
 - *Where appropriate, ISO/TS 15066:2016 on the safety of collaborative robot applications was **added to the ISO 10218 series**. Because human-robot collaboration relates to the application and not to the robot alone, most of the requirements of ISO/TS 15066 have been incorporated into this document. Safety functions that enable a collaborative application can be part of the robot (e.g. PFL), or can be provided by a protective device, or a combination.*
 - *It is important to emphasize that the term “collaborative robot” is not used in this document. Only the application can be developed, verified, and validated as a **collaborative application**. In addition, the term “collaborative operation” is not used in this document.*

Definizioni

UNI EN ISO 10218-2:2025 (§3.1.1)

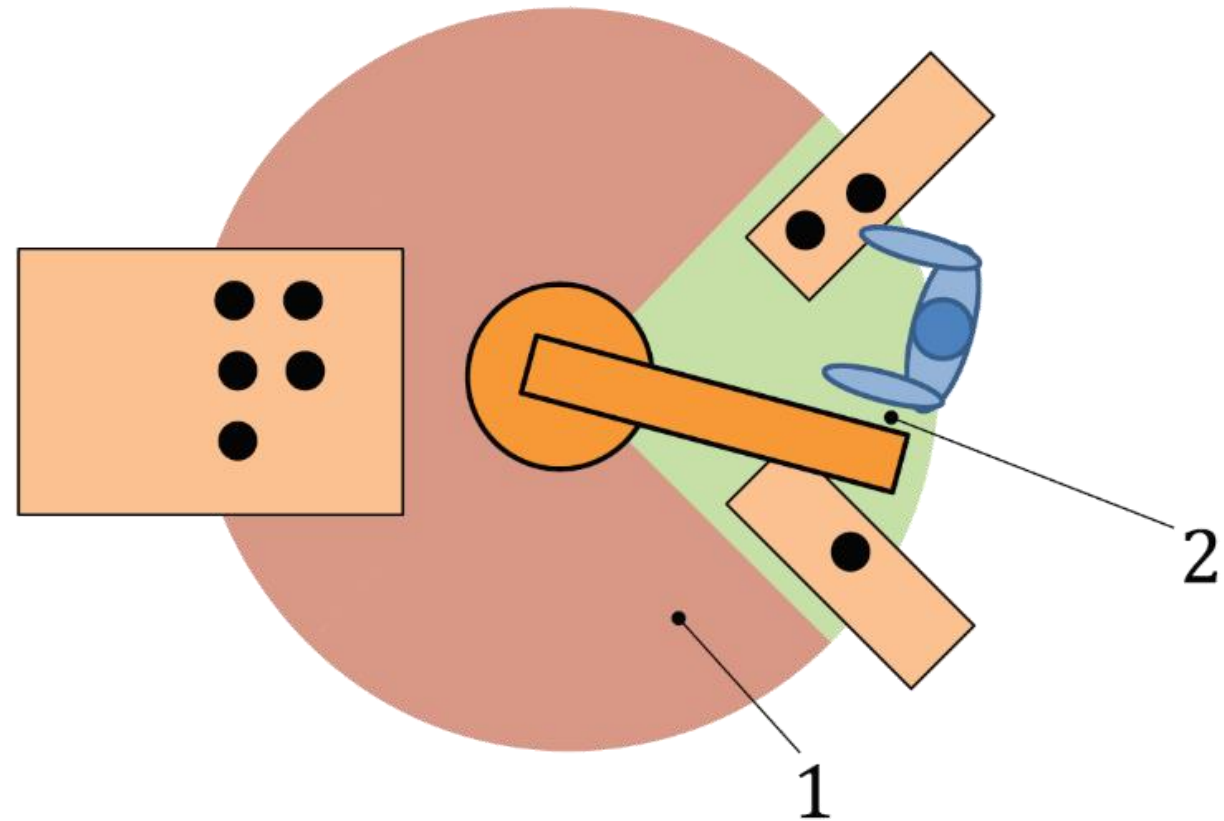
- **Applicazione collaborativa:** applicazione che contiene una o più attività collaborative.
 - Nota: le applicazioni collaborative possono **includere attività non collaborative.**
- **Attività collaborativa:** parte della sequenza del robot in cui sia l'applicazione del robot che l'operatore/gli operatori si trovano nello stesso spazio protetto.
 - **Collaborative application:** *application that contains one or more collaborative task(s).*
 - Note: collaborative applications can include non-collaborative tasks.
 - **Collaborative task:** *portion of the robot sequence where both the robot application and operator(s) are within the same safeguarded space.*



Caratteristiche delle applicazioni collaborative

UNI EN ISO 10218-2:2025 (§4.3)

- Nel funzionamento collaborativo di un robot, gli operatori possono lavorare in prossimità dell'applicazione robotizzata, mentre gli attuatori del robot e dell'end-effector sono in potenza.
- Può verificarsi il contatto previsto o ragionevolmente prevedibile tra un operatore e l'applicazione robotizzata.
- Può verificarsi la transizione tra uso non collaborativo e uso collaborativo.



- 1 Spazio operativo
2 Spazio di lavoro collaborativo

Requisiti per applicazioni collaborative

UNI EN ISO 10218-2:2025 (§5.14.1)

- Devono essere previste misure di protezione per **garantire la sicurezza dell'operatore in caso di contatto** con le parti in movimento o per **arrestare l'applicazione robotizzata prima che il contatto avvenga**.
- L'esposizione al contatto con **parti sensibili del corpo**, incluso il cranio, la fronte, la laringe, gli occhi, le orecchie o il viso devono essere evitate. Se non è possibile, devono essere previsti ripari o dispositivi di protezione.
- Le applicazioni collaborative possono comprendere **sia attività collaborative che attività non collaborative** in uno spazio protetto comune. Le applicazioni che comprendono attività collaborative devono avere un'**indicazione visiva** per segnalare quando è possibile effettuare l'attività collaborativa.
- I **bordi** devono essere il più possibile arrotondati e ammorbiditi per ridurre le forze o pressioni di contatto con il corpo.
- La **massa** deve essere il più possibile ridotta per minimizzare le forze o le pressioni in caso di contatto transitorio.
- L'utilizzo di **imbottiture** e **componenti deformabili** possono ridurre il trasferimento di energia di impatto.

Transizioni nelle applicazioni collaborative

UNI EN ISO 10218-2:2025 (§5.14.3)

- Le transizioni sono un aspetto particolarmente critico nelle applicazioni collaborative.
- Le transizioni possono avvenire:
 - tra **attività collaborative che utilizzano misure di sicurezza diverse** quali HGC, SSM o PFL;
 - tra **attività collaborative e attività non collaborative.**
- L'operatore deve essere protetto durante le transizioni.
- Nelle transizioni tra attività collaborative e attività non collaborative, deve essere prevenuto l'avvio delle attività non collaborative finché l'operatore non è **all'esterno della zona protetta.**



Hand-guided control (HGC)

UNI EN ISO 10218-2:2025 (§5.14.4)

- L'operatore utilizza un **dispositivo manuale per controllare direttamente il movimento** dell'applicazione robotizzata.
- L'applicazione robotizzata deve disporre di un **controllo di sicurezza della velocità** e di una funzione di **arresto monitorato di sicurezza**.
- Il dispositivo di comando può essere del tipo ad **azione mantenuta** o può essere un **dispositivo di abilitazione a tre posizioni**.
- L'operatore deve avere **visibilità** della zona pericolosa durante la guida manuale.
- Il comando può essere posizionato in **prossimità dell'end-effector**, su una **postazione fissa** o su una **postazione portatile**.



Hand-guided control (HGC)

UNI EN ISO 10218-2:2025 (§5.14.4)

- La guida manuale (HGC) può essere attivata:
 - quando il robot e l'end-effector raggiungono la posizione predeterminata e si fermano con un arresto monitorato di sicurezza **prima** che l'HGC diventi attivo, oppure
 - avvicinandosi al robot e attivando l'HGC se sono implementati il **monitoraggio di velocità e separazione (SSM)** o la **limitazione della potenza e della forza (PFL)**.
- Quando l'operatore ha assunto il controllo del robot con il dispositivo di guida manuale, l'arresto monitorato di sicurezza viene rilasciato e l'operatore svolge l'attività di guida manuale.
- Al rilascio della guida manuale, deve essere attivato **un arresto di protezione con monitoraggio dello stato di arresto**, a meno che siano presenti il monitoraggio di velocità e separazione (SSM) o la limitazione della potenza e della forza (PFL).



Monitoraggio di velocità e separazione (SSM)

UNI EN ISO 10218-2:2025 (§5.14.5)

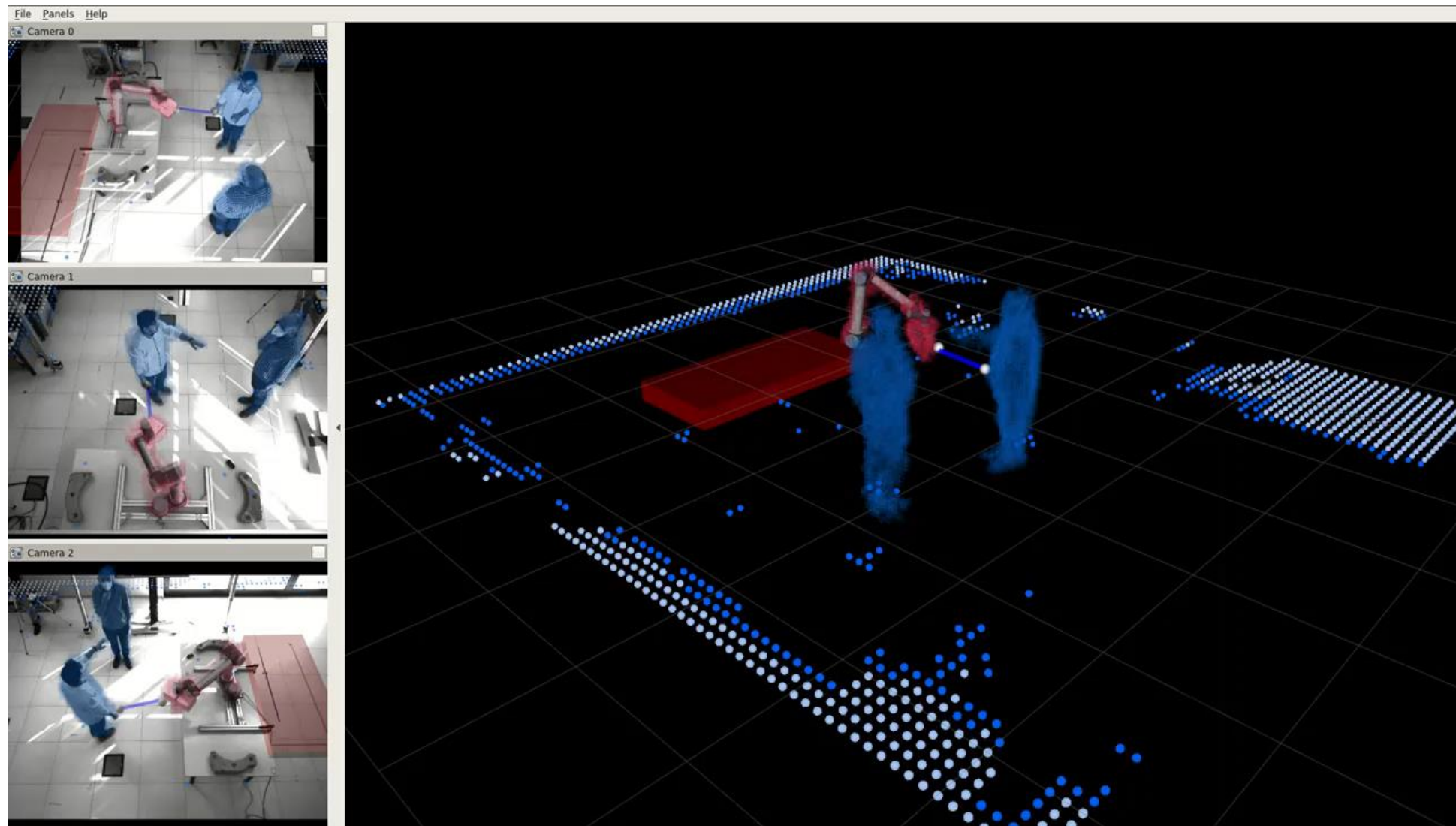
- Il robot, l'end-effector, il pezzo in lavorazione e le parti in movimento dell'applicazione devono mantenere una **determinata distanza di separazione dall'operatore**. Le **distanze** e le **velocità relative** dell'operatore e dell'applicazione sono continuamente **monitorate**.
- Il monitoraggio di velocità e separazione deve essere applicato a **tutte le persone** all'interno dello spazio protetto. Se le prestazioni del dispositivo di protezione sono limitate dal numero di persone nello spazio protetto e il limite è superato, deve essere generato un arresto di protezione.
- Deve essere impiegato un **dispositivo di protezione sensibile** che rilevi l'**accesso** all'interno dell'area protetta e/o monitori la **presenza** di persone.

Monitoraggio di velocità e separazione (SSM)

UNI EN ISO 10218-2:2025 (§5.14.5)

- La distanza di separazione S_p deve essere calcolata secondo quanto indicato nell'**allegato L** e nelle norme UNI EN ISO 13855:2010 e CEI EN IEC 62046:2021.
- Durante il movimento il robot non si avvicina all'operatore a meno della distanza di separazione. Quando la distanza diminuisce ad un valore inferiore alla distanza di separazione, il robot **si arresta**.
- Dopo l'arresto monitorato, l'applicazione robotizzata **può riprendere automaticamente il movimento** se viene mantenuta la distanza di separazione e non sono presenti persone all'interno della zona protetta SSM.
- La distanza di separazione può essere ridotta a zero quando il contatto con l'operatore rientra nei **limiti biomeccanici accettabili**.
- La velocità e la distanza di separazione possono essere **variabili** o **costanti**. La distanza di separazione può essere rispettata:
 - **diminuendo la velocità**, che può portare ad un arresto monitorato;
 - **compiendo un percorso alternativo** che garantisca la distanza di separazione.

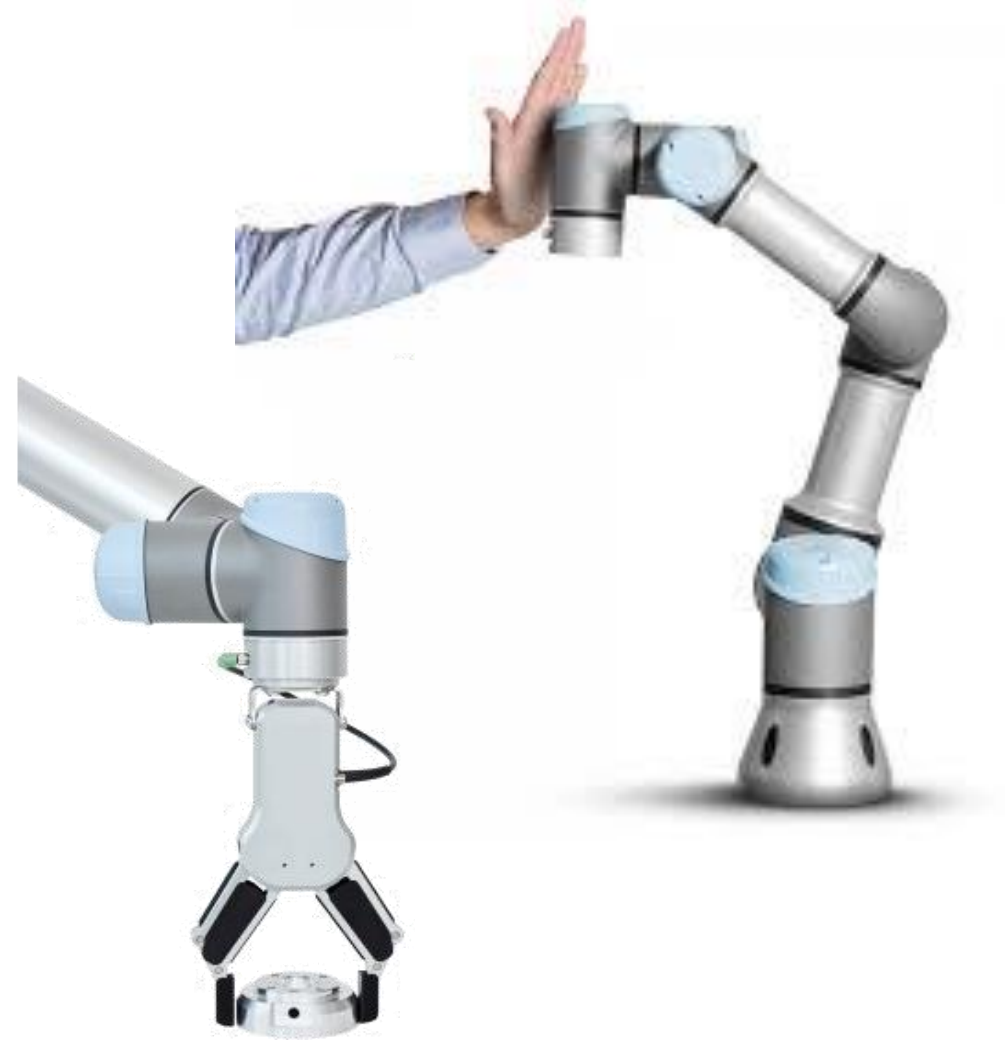
Monitoraggio di velocità e separazione



Limitazione della potenza e della forza (PFL)

UNI EN ISO 10218-2:2025 (§5.14.6)

- In questa applicazione , **il contatto fisico tra le parti in movimento dell'applicazione robotizzata ed un operatore può verificarsi** intenzionalmente o involontariamente.
- In applicazioni collaborative PFL, il robot deve essere conforme ai requisiti del §5.10.4 della UNI EN ISO 10218-1:2025.
- I rischi devono essere ridotti **non eccedendo i limiti di potenza e forza** durante il contatto.
- La riduzione del rischio può essere raggiunta mediante:
 - **progettazione intrinseca**, e/o
 - **funzioni di sicurezza** (ad esempio limitazione di velocità, forza e potenza).



Definizioni

UNI EN ISO 10218-2:2025 (§3.1.12)

- **Contatto quasi-statico:** contatto tra un operatore e una parte in movimento di un'applicazione robotizzata, in cui una parte del corpo dell'operatore può essere bloccata tra una parte mobile dell'applicazione robotizzata e un'altra parte fissa o mobile dell'applicazione.
- **Contatto transitorio:** breve contatto tra un operatore e una parte in movimento di un'applicazione robotizzata, in cui la parte del corpo operatore non è bloccata e può indietreggiare o ritirarsi dalla parte mobile dell'applicazione robotizzata.
- Sono inclusi i contatti con il manipolatore, parti mobili attaccate al manipolatore (ad esempio cavi e tubi), l'end-effector e il pezzo in lavorazione.



Limitazione della potenza e della forza (PFL)

UNI EN ISO 10218-2:2025 (§5.14.6)

- Possibilità di contatto tra robot e operatore:
 - situazioni di **contatto previste** non pericolose che fanno parte della normale sequenza di lavoro;
 - situazioni di **contatto accidentale**, che possono essere conseguenza del mancato rispetto di procedure di lavoro, ma senza un guasto tecnico.
- Nella valutazione del rischio devono essere considerati, in particolare, i pericoli di contatto con il **viso**, il **cranio** e la **fronte**.
- L'esposizione a contatti prevedibili delle **regioni del corpo sensibili**, compresi il cranio, la fronte, la laringe, gli occhi, le orecchie o il viso, **devono essere evitati**. Possono essere raccomandate misure di protezione a carico dell'utilizzatore incluso l'uso di **DPI**, quali ad esempio caschi di protezione, schermi facciali, occhiali di protezione.



Limitazione della potenza e della forza (PFL)

UNI EN ISO 10218-2:2025 (§5.14.6)

- Esempi di progettazione intrinsecamente sicura:
 - **aumento della superficie di contatto:**
 - bordi e angoli arrotondati;
 - superfici lisce;
 - **assorbimento dell'energia**, estendendo il tempo di trasferimento dell'energia o riducendo le forze di impatto:
 - imbottitura;
 - componenti deformabili;
 - **riduzione delle masse** in movimento;
 - minimizzazione della necessità dell'operatore di entrare o sostare in zone in cui può avvenire il contatto.



Limitazione della potenza e della forza (PFL)

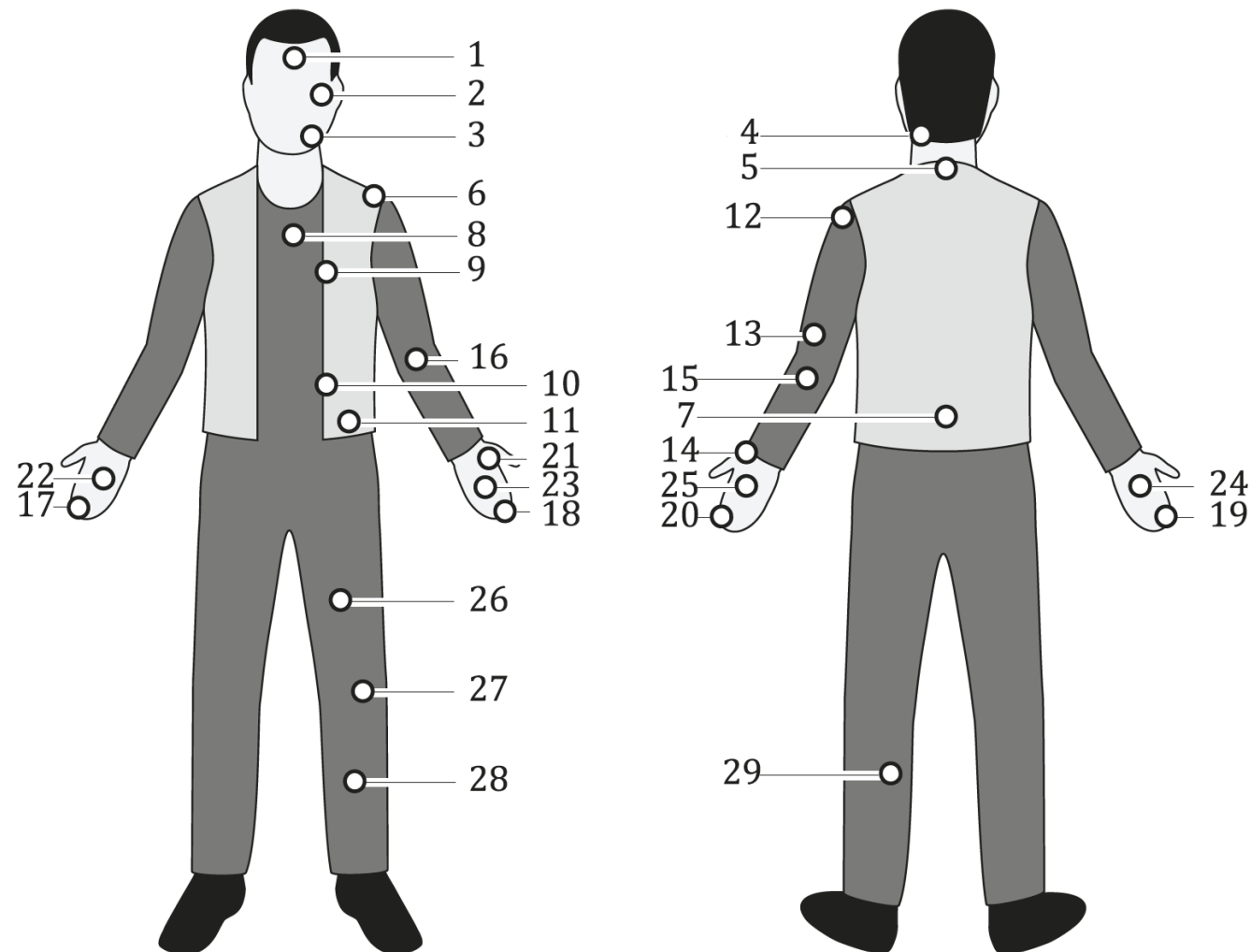
UNI EN ISO 10218-2:2025 (§5.14.6)

- Esempi di funzioni di sicurezza:
 - **limitazione delle forze o della potenza;**
 - **limitazione delle velocità** delle parti in movimento;
 - utilizzo di assi controllati da software di sicurezza e funzioni di limitazione dello spazio;
 - utilizzo della funzione di arresto monitorato di sicurezza;
 - uso di **dispositivi sensibili** per anticipare o rilevare il contatto (ad esempio la vicinanza o il rilevamento del contatto per ridurre le forze quasi-statiche).



Modello del corpo

UNI EN ISO 10218-2:2025 (allegato M)



Limiti biomeccanici

UNI EN ISO 10218-2:2025 (allegato M)

Regione del corpo	Area del corpo specifica	Contatto quasi-statico		Contatto transitorio	
		Pressione P_{\max} [N/cm ²]	Forza F_{\max} [N]	Pressione P_T [moltiplicatore di P_{\max}]	Pressione F_T [moltiplicatore di F_{\max}]
Cranio e fronte	Centro della fronte	130	130	Non applicabile	Non applicabile
	Tempia	110		Non applicabile	
Faccia	Muscolo masticatorio	110	65	Non applicabile	Non applicabile
Collo	Muscolo del collo	140	150	2	2
	Settimo muscolo del collo	210		2	
Schiena e spalle	Articolazione della spalla	160	210	2	2
	Quinta vertebra lombare	210		2	2
Torace	Sterno	120	140	2	2
	Muscolo pettorale	170		2	
Addome	Muscolo addominale	140	110	2	2
Bacino	Osso pelvico	210	180	2	2
Braccia e articolazioni del gomito	Muscolo deltoide	190	150	2	2
	Omero	220		2	
Avambracci e articolazioni del polso	Radio	190	160	2	2
	Muscolo dell'avambraccio	180		2	
	Nervo del braccio	180		2	

Limiti biomeccanici

UNI EN ISO 10218-2:2025 (allegato M)

Regione del corpo	Area del corpo specifica	Contatto quasi-statico		Contatto transitorio	
		Massima pressione ammissibile [N/cm²]	Massima forza ammissibile [N]	Massimo moltiplicatore della pressione ammissibile	Massimo moltiplicatore della forza ammissibile
Mani e dita	Polpastrello del dito indice D	300	140	2	2
	Polpastrello del dito indice ND	270		2	
	Articolazione del dito indice D	280		2	
	Articolazione del dito indice ND	220		2	
	Eminenza tenar	200		2	
	Palmo D	260		2	
	Palmo ND	260		2	
	Dorso della mano D	200		2	
	Dorso della mano ND	190		2	
Cosce e ginocchia	Muscolo della coscia	250	220	2	2
	Rotula	220		2	
Parte inferiore delle gambe	Centro dello stinco	220	130	2	2
	Muscolo del polpaccio	210		2	

D: lato dominante del corpo — ND: lato non dominante del corpo

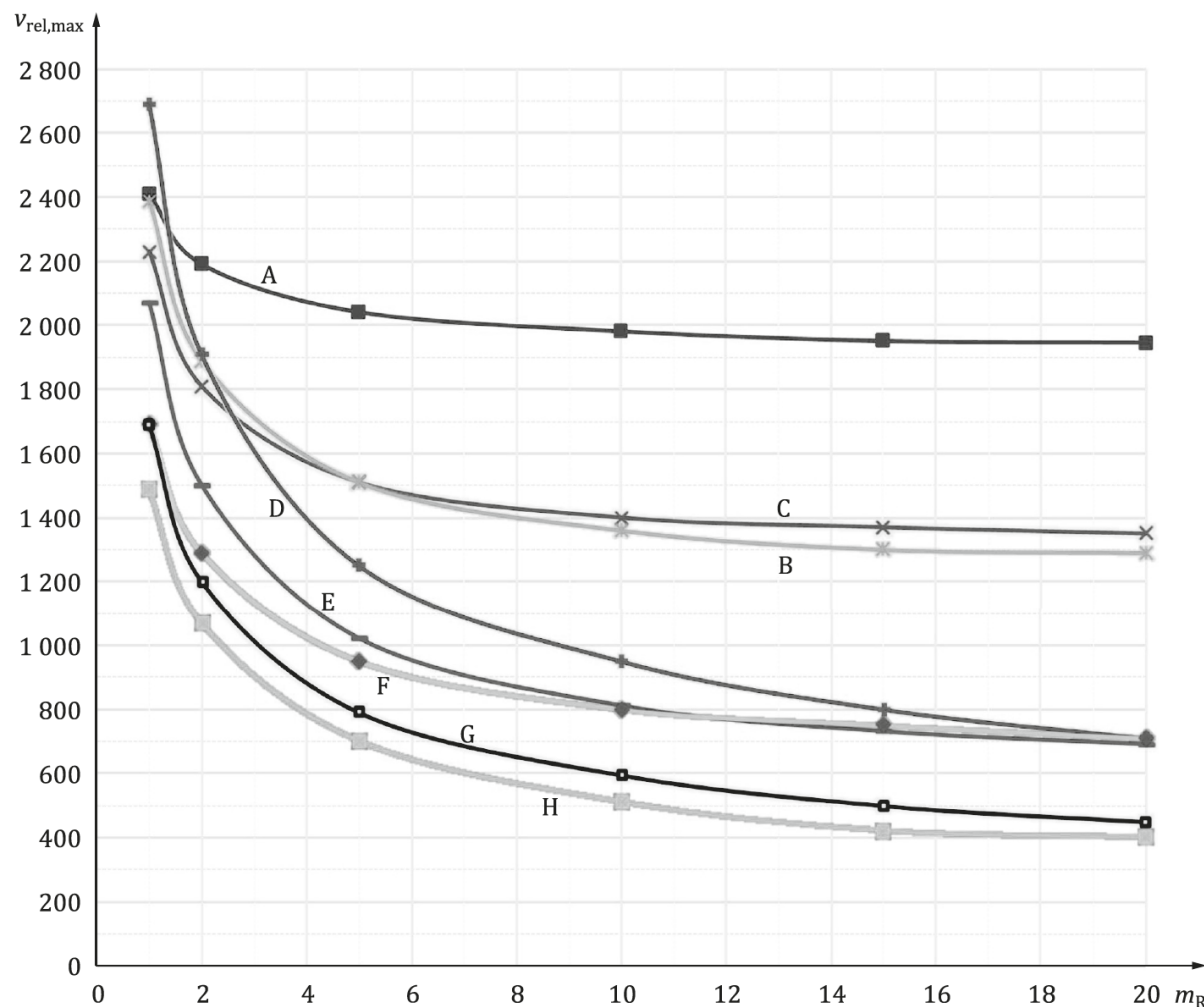
Valori limiti di energia (contatti transitori)

UNI EN ISO 10218-2:2025 (allegato M)

Regione del corpo	Massima energia trasferita E [J]
Cranio e fronte	0,23
Viso	0,11
Collo	0,84
Schiena e spalle	2,5
Torace	1,6
Addome	2,4
Bacino	2,6
Parte superiore delle braccia e articolazioni del gomito	1,5
Parte inferiore delle braccia e articolazioni del polso	1,3
Mani e dita	0,49
Parte superiore delle gambe (cosce e ginocchia)	1,9
Parte inferiore delle gambe	0,52

Calcolo della velocità relativa massima (contatti transitori)

UNI EN ISO 10218-2:2025 (allegato M)



- $v_{rel,max}$: velocità relativa massima tra le parti mobili dell'applicazione robotica e la regione del corpo umano
- m_R : massa effettiva delle parti mobili dell'applicazione robotica in funzione della postura e del movimento del robot

A mano/dito
B braccio
C avambraccio
D bacino

E coscia
F gamba
G spalle
H torace

Grazie per l'attenzione

Chiara Cappelletti