



La sicurezza nell'interazione uomo-macchina

Chiara Cappelletti

21 novembre 2024

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**.



Definizioni per robot collaborativi

ISO/TS 15066:2016 (§3)

- Funzionamento collaborativo: stato in cui un robot **appositamente** progettato e un operatore lavorano all'interno di uno spazio di lavoro collaborativo.
- **Spazio di lavoro collaborativo**: spazio all'interno dello spazio di lavoro in cui il robot (compreso il pezzo da lavorare) e un essere umano possono eseguire le attività contemporaneamente durante le operazioni di produzione.

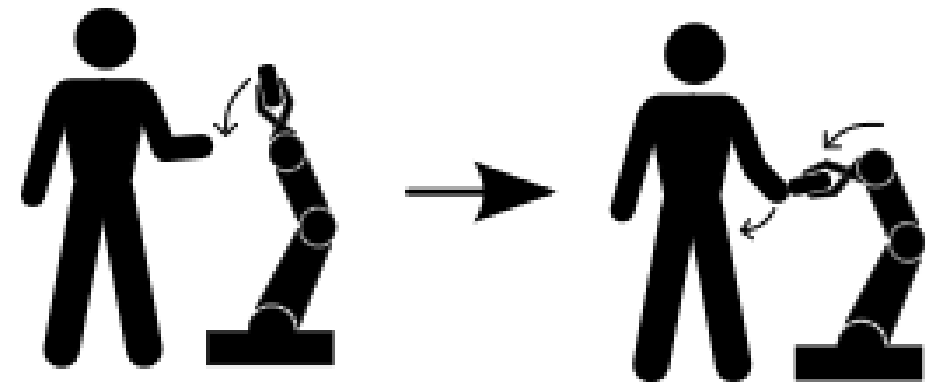
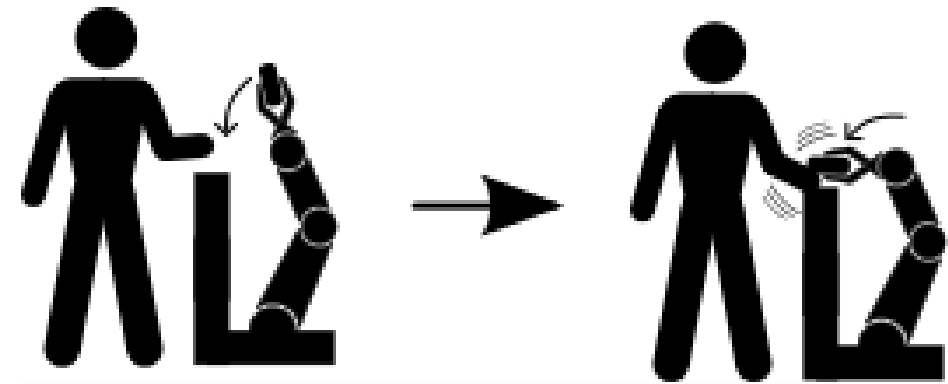


- **Distanza di separazione protettiva**: la distanza più breve consentita tra qualsiasi parte pericolosa in movimento del robot e qualsiasi essere umano nello spazio di lavoro collaborativo.

Definizioni per robot collaborativi

ISO/TS 15066:2016 (§3)

- **Contatto quasi-statico:** contatto tra un operatore e una parte di un robot, in cui una parte del corpo dell'operatore può essere bloccata tra una parte mobile di un robot e un'altra parte fissa o mobile della cella robotizzata.
- **Contatto transitorio:** contatto tra un operatore e una parte di un robot, in cui la parte del corpo operatore non è bloccata e può indietreggiare o ritirarsi dalla parte mobile del robot.



Requisiti per robot collaborativi

Arresto monitorato di sicurezza (UNI EN ISO 10218-1:2012, §5.10)

- Il robot deve fermarsi quando un essere umano è nello spazio di lavoro collaborativo; la funzione di arresto deve essere conforme a §5.4 e §5.5.3; **il robot può riprendere il funzionamento automatico quando l'uomo lascia la spazio collaborativo.**
- In alternativa, il robot può rallentare, **ottenendo un arresto di categoria 2 secondo CEI EN 60204-1:2018**; una volta arrestato, la condizione di arresto deve essere monitorata dal sistema di controllo di sicurezza in accordo con §5.4; un guasto della funzione di arresto monitorato di sicurezza deve causare un arresto di categoria 0.
- L'arresto di categoria 2 può essere ottenuto per mezzo di un sistema di azionamento elettrico che effettua un arresto operativo sicuro (**SOS** o safe operating stop) secondo **CEI EN 61800-5-2:2017**.

Arresto monitorato di sicurezza

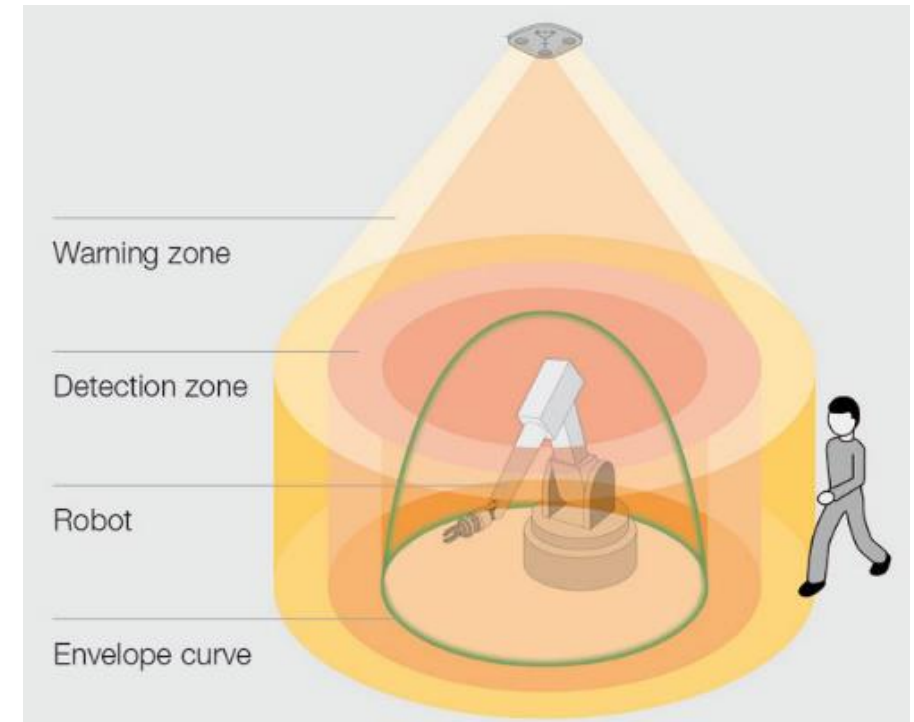
ISO/TS 15066:2016 (§5.5.2)

- Il **robot può entrare** nell'area di lavoro collaborativa solamente **se non ci sono operatori presenti**.
- Il **movimento** del robot viene **arrestato prima che l'operatore entri nello spazio collaborativo** per interagire con il robot (ad esempio caricare un pezzo).
- Se non c'è **nessun operatore** nell'area di lavoro collaborativa, il robot può operare in **modo non collaborativo**.
- Il **movimento** del robot può **riprendere** senza ulteriori interventi solo dopo che l'operatore ha **lasciato l'area** di lavoro collaborativa.
- Le distanze nello spazio di lavoro collaborativo devono essere conformi ai requisiti della norma UNI EN ISO 13855:2010.

Arresto monitorato di sicurezza

ISO/TS 15066:2016 (§5.5.2)

Movimento del robot o funzione di arresto		Vicinanza dell'operatore allo spazio collaborativo	
		Al di fuori	All'interno
Vicinanza del robot allo spazio collaborativo	Al di fuori	Continuare	Continuare
	All'interno e in movimento	Continuare	Arresto di protezione
	All'interno, in arresto monitorato di sicurezza	Continuare	Continuare



Requisiti per robot collaborativi

Guida manuale (UNI EN ISO 10218-1:2012, §5.10)

- L'equipaggiamento per la guida manuale deve essere collocato **vicino** al dispositivo che effettua la lavorazione e deve essere dotato di:
 - un **arresto di emergenza** conforme a §5.5.2 e §5.8.4 e
 - un **dispositivo di consenso** conforme a §5.8.3.
- Il robot deve muoversi con una **funzione di velocità monitorata in sicurezza attiva** (vedi §5.6.4); il limite di velocità monitorato in sicurezza è determinato dalla valutazione dei rischi.

Guida manuale

ISO/TS 15066:2016 (§5.5.3)

- L'operatore utilizza un **dispositivo manuale per trasmettere i comandi di movimento al robot**.
- **Prima** che l'operatore abbia il permesso di **entrare nello spazio** di lavoro collaborativo il robot deve essere in **arresto monitorato** di sicurezza.
- L'operatore aziona manualmente un dispositivo di guida posto in **prossimità dell'end-effector** del robot.
- Se i requisiti di limitazione della potenza e della forza sono soddisfatti durante la guida manuale, i requisiti del punto 5.5.3 non si applicano.



Guida manuale

ISO/TS 15066:2016 (§5.5.3)

- Il robot deve disporre di un **controllo di sicurezza della velocità** e di una funzione di arresto monitorato di sicurezza.
- Se la sicurezza dell'operatore dipende dalla limitazione dell'ampiezza del movimento del robot, il robot deve essere dotato di limitazione dello spazio mediante software di sicurezza.
- La sequenza operativa per la guida manuale è la seguente:
 - il robot è pronto per la guida manuale quando entra nell'area di lavoro collaborativa e si ferma con un arresto monitorato di sicurezza; l'operatore può quindi entrare nello spazio di lavoro collaborativo;
 - 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;
 - quando l'operatore rilascia il dispositivo di guida, viene attivato l'arresto monitorato di sicurezza;
 - quando l'operatore è uscito dall'area di lavoro collaborativa, il robot può riprendere il funzionamento non collaborativo.
- **Se l'operatore entra nello spazio di lavoro** collaborativo prima che il robot sia pronto per la guida manuale, viene attivato un **arresto di protezione**.

Requisiti per robot collaborativi

Monitoraggio di velocità e separazione (UNI EN ISO 10218-1:2012, §5.10)

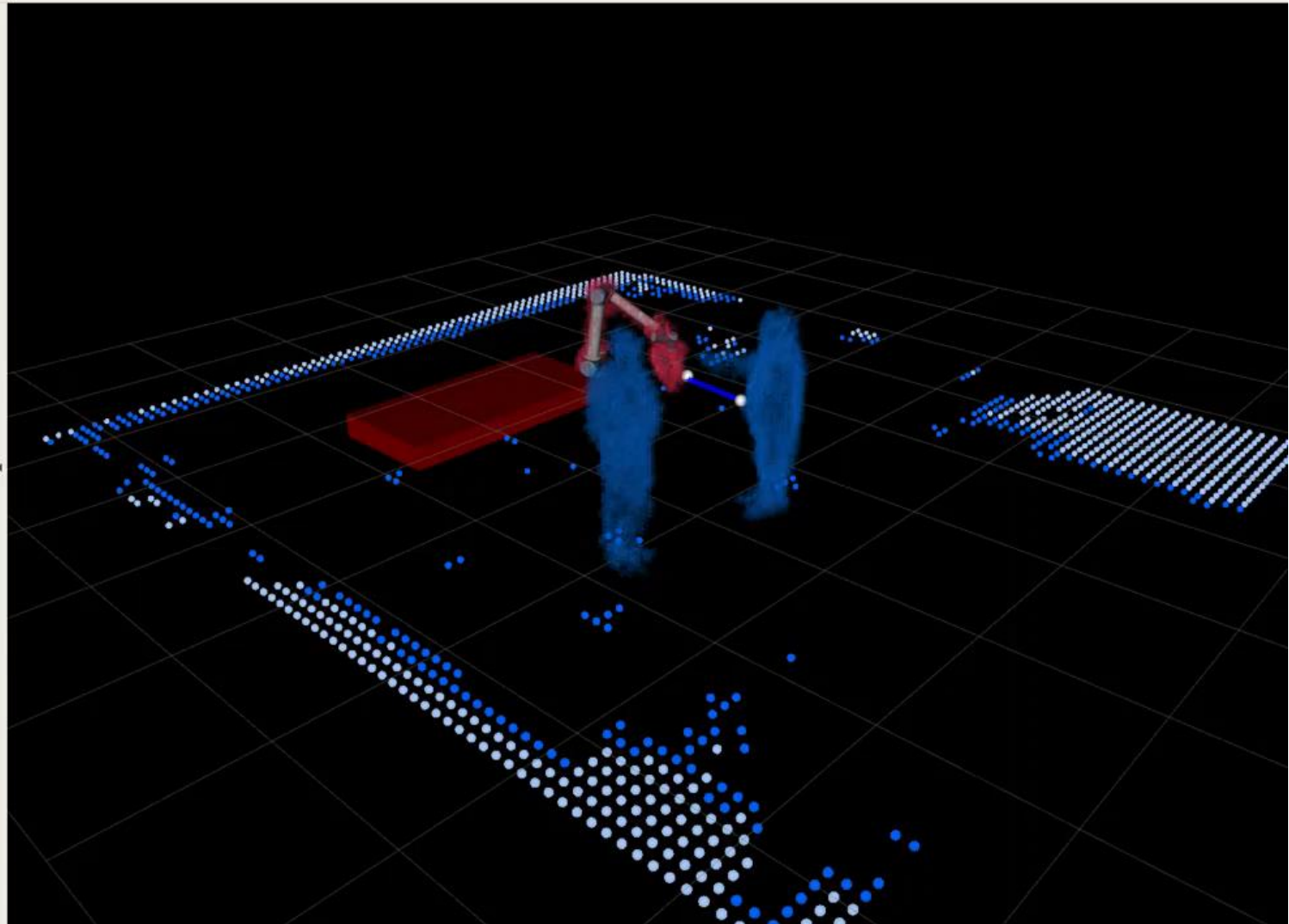
- Il robot deve mantenere una determinata velocità e **distanza di separazione dall'operatore**; queste funzioni possono essere realizzate da caratteristiche integrate o da una combinazione di ingressi esterni; il rilevamento del fallimento del mantenimento della velocità o della distanza di separazione determinate devono causare un arresto di sicurezza (vedi §5.5.3); le funzioni di controllo della velocità e della separazione devono essere conformi a §5.4.2.
- **Il robot** è semplicemente un componente in un sistema robotizzato collaborativo e **non è di per sé sufficiente per un funzionamento collaborativo sicuro**; la progettazione di un sistema collaborativo dipende dalla valutazione dei rischi.
- Le velocità relative dell'operatore e del robot devono essere considerate nel calcolo della distanza minima di sicurezza; i requisiti minimi di distanza sono contenuti nella norma UNI EN ISO 13855:2010.

Monitoraggio di velocità e distanza

ISO/TS 15066:2016 (§5.5.4)

- In questo modo di funzionamento, il robot e l'operatore possono **muoversi contemporaneamente** nello spazio di lavoro collaborativo.
- La riduzione dei rischi si ottiene mantenendo in ogni momento **almeno la distanza di separazione protettiva tra operatore e robot**.
- Durante il movimento il robot non si avvicina all'operatore a meno della distanza di separazione protettiva.
- Quando la distanza di separazione diminuisce ad un valore inferiore alla distanza di separazione protettiva, il robot si arresta.
- Quando l'operatore si allontana **il robot può riprendere automaticamente il movimento** mantenendo almeno la distanza di separazione protettiva.
- Quando il robot riduce la sua velocità, la distanza di separazione protettiva diminuisce in modo corrispondente.

Monitoraggio di velocità e distanza



Monitoraggio di velocità e distanza

ISO/TS 15066:2016 (§5.5.4)

- Il robot deve disporre di un **controllo di sicurezza della velocità** e di una funzione di arresto monitorato di sicurezza.
- Se la sicurezza dell'operatore dipende dalla limitazione dell'ampiezza del movimento del robot, il robot deve essere dotato di limitazione dello spazio mediante software di sicurezza.
- Se la distanza di separazione tra una parte pericolosa del robot e qualsiasi operatore scende al di sotto della distanza di separazione protettiva, il robot deve:
 - attivare un arresto protettivo;
 - attivare altre funzioni legate alla sicurezza, ad esempio arrestare funzioni pericolose degli utensili.
- Le possibilità con cui il sistema di controllo del robot può evitare di violare la distanza di separazione protettiva comprendono, ma non sono limitate a:
 - **riduzione della velocità**, eventualmente seguita da un arresto monitorato di sicurezza;
 - **esecuzione di un percorso alternativo** che non violi la distanza di separazione protettiva, continuando il monitoraggio della velocità e della distanza.

Monitoraggio di velocità e distanza

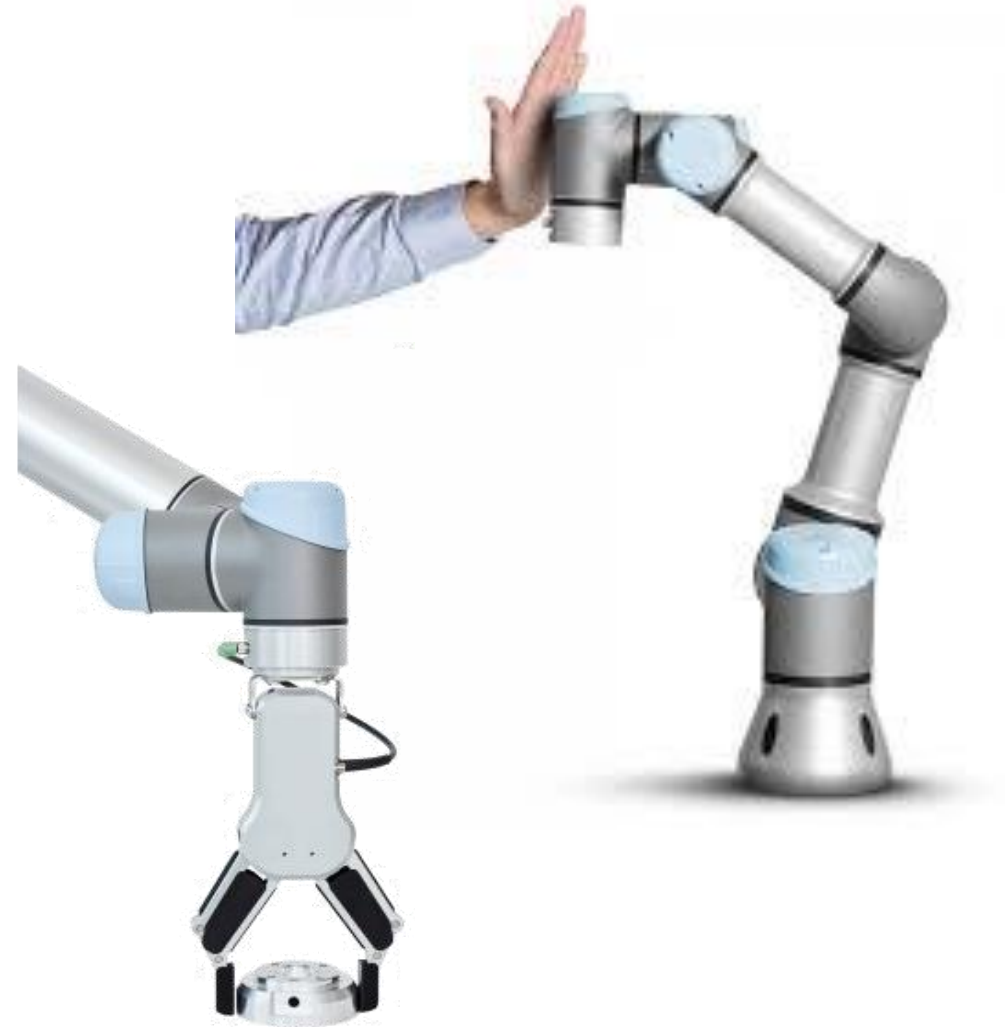
ISO/TS 15066:2016 (§5.5.4)

- Le **velocità massime consentite** e le **distanze minime di separazione di protezione** in un'applicazione possono essere **variabili o costanti**.
- Per valori variabili, le velocità massime consentite e le distanze di separazione di protezione possono essere regolate continuamente in base alle velocità e alle distanze relative del robot e dell'operatore.
- Per valori costanti, la velocità massima consentita e la distanza di separazione protettiva devono essere determinate attraverso la valutazione dei rischi come casi peggiori.

Requisiti per robot collaborativi

Limitazione della potenza e della forza (UNI EN ISO 10218-1:2012, §5.10)

- **Limitazione della potenza e della forza** mediante progettazione intrinseca o controllo.
 - La funzione di limitazione della potenza o della forza del robot deve essere conforme a §5.4; se un limite di questi parametri viene superato deve essere effettuato un arresto di sicurezza.
 - **Il robot** è semplicemente un componente in un sistema robotizzato collaborativo e **non è di per sé sufficiente per un funzionamento collaborativo sicuro**; la progettazione di un sistema collaborativo dipende dalla valutazione dei rischi.



Limitazione di potenza e forza

ISO/TS 15066:2016 (§5.5.5)

- In questo modo di funzionamento, **il contatto fisico tra il robot** (compreso il pezzo da lavorare) **ed un operatore può verificarsi** intenzionalmente o involontariamente.
- Possibilità di contatto tra robot e operatore:
 - situazioni di contatto previste 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;
 - modalità di guasto che portano a situazioni di contatto.
- Si assume che l'operatore non sia protetto da misure di riduzione del rischio, inclusi dispositivi di protezione individuale.
- **L'esposizione a contatti delle regioni del corpo sensibili**, compresi il cranio, la fronte, la laringe, gli occhi, le orecchie o la faccia, **devono essere evitati per quanto ragionevolmente possibile**.
- **Oggetti con bordi acuminati, affilati o taglienti** quali aghi, cesoie o coltelli e parti che potrebbero causare lesioni **non devono essere presenti** nell'area di contatto.

Limitazione di potenza e forza

ISO/TS 15066:2016 (§5.5.5)

- Metodi di progettazione sicura **passiva** comprendono, ma non sono limitati a:
 - **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;
 - **limitazione delle masse** in movimento.



Limitazione di potenza e forza

ISO/TS 15066:2016 (§5.5.5)

- Metodi di progettazione sicura **attiva** comprendono, ma non sono limitati a:
 - **limitazione delle forze o delle coppie;**
 - **limitazione delle velocità** delle parti in movimento;
 - limitazione del momento, della potenza meccanica o dell'energia in funzione delle masse e delle velocità;
 - 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).



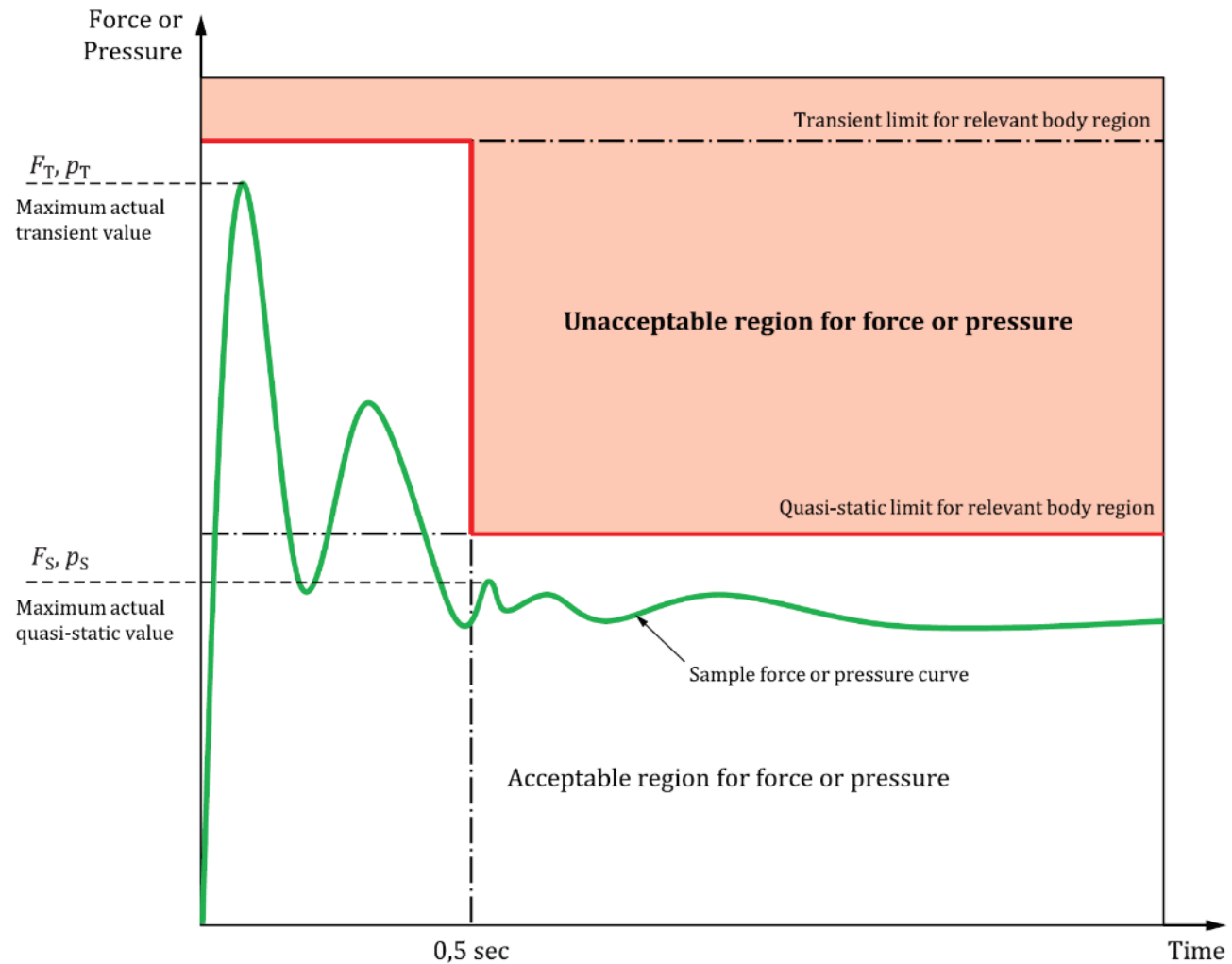
Limitazione di potenza e forza

ISO/TS 15066:2016 (§5.5.5)

- È possibile che sia richiesta una combinazione di funzioni di sicurezza, ad esempio la funzione di sicurezza di limitazione della forza può essere efficace solo fino ad un determinato limite di velocità; in questo caso, sarebbe necessaria una funzione di sicurezza aggiuntiva per la velocità.
- Ogni evento di bloccaggio tra il robot collaborativo e le regioni del corpo umano deve avvenire in modo tale che **la persona possa sottrarsi autonomamente e facilmente dalla condizione di bloccaggio.**
- I limiti ergonomici possono essere diversi dai limiti biomeccanici; per contatti frequenti o altri casi particolari, i valori limite di soglia applicabili possono essere ulteriormente ridotti a un livello ergonomicamente accettabile.

Limitazione di potenza e forza

ISO/TS 15066:2016 (§5.5.5)



Limiti biomeccanici

ISO/TS 15066:2016 (tabella A.2)

Regione del corpo	Area del corpo specifica	Contatto quasi-statico		Contatto transitorio	
		Massima pressione ammissibile [N/cm ²]	Massima forza ammissibile [N]	Massimo moltiplicatore della pressione ammissibile	Massimo moltiplicatore della forza ammissibile
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	
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

ISO/TS 15066:2016 (tabella A.2)

Regione del corpo	Area del corpo specifica	Contatto quasi-statico		Contatto transitorio	
		Massima pressione ammissibile [N/cm ²]	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



Grazie per l'attenzione
Chiara Cappelletti