di MARTINA MALAGUTI e MARCO DE MITRI – NIER INGEGNERIA

Viabilità interna: dalla valutazione del rischio agli schemi di circolazione

I gradi siti produttivi sono caratterizzati da una configurazione complessa e sono percorsi di continuo da persone e mezzi, con relativo rischio permanente di investimento di persone o collisione tra veicoli. La normativa sulla salute e della sicurezza dei lavoratori sui luoghi di lavoro fornisce alcune indicazioni sul tema, ma risulta pressoché impossibile poter dare prescrizioni chiare che si possano adattare ad ogni tipo di impianto.

In linea del tutto generale, la tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori sui luoghi di lavoro richiede l'attivazione di un processo che prevede: l'identificazione dei potenziali pericoli, la valutazione dei rischi, la realizzazione di misure per la loro riduzione, il monitoraggio e la revisione continua delle misure stesse. Ad esempio, per identificare i pericoli legati alla viabilità interna di un sito produttivo, bisogna esaminare le attività lavorative che prevedono l'uso di veicoli (ad esempio legate alle operazioni di carico-scarico), i percorsi dei veicoli stessi, le attività e comportamenti dei conducenti, le interferenze dovute ad altre attività o persone nei dintorni. Inoltre, analizzare gli infortuni e le segnalazioni dei lavoratori permette di identificare anche i rischi meno evidenti.

In generale, gli incidenti che coinvolgono il trasporto sul posto di lavoro possono essere di diverso tipo: investimento di persone, caduta delle persone dai veicoli, ribaltamento dei veicoli, ecc. Pertanto, quando si cercano i pericoli correlati trasporto o alla movimentazione dei mezzi, occorre considerare: le caratteristiche del sito (ad esempio come sono disposte le vie di circolazione e se sono in buone condizioni), lo stato dei veicoli e le azioni dei conducenti e delle persone che si trovano nelle vicinanze del veicolo. Bisogna pertanto focalizzarsi sugli ambiti "zone di lavoro", "veicoli", "persone".

Per ogni situazione di pericolo, il livello di rischio deriva da una combinazione della probabilità di accadimento di un incidente e della gravità delle conseguenze dello stesso sulle persone. Occorre quindi analizzare le misure di riduzione del rischio già in atto, e decidere se sono sufficienti o se vanno adeguate.

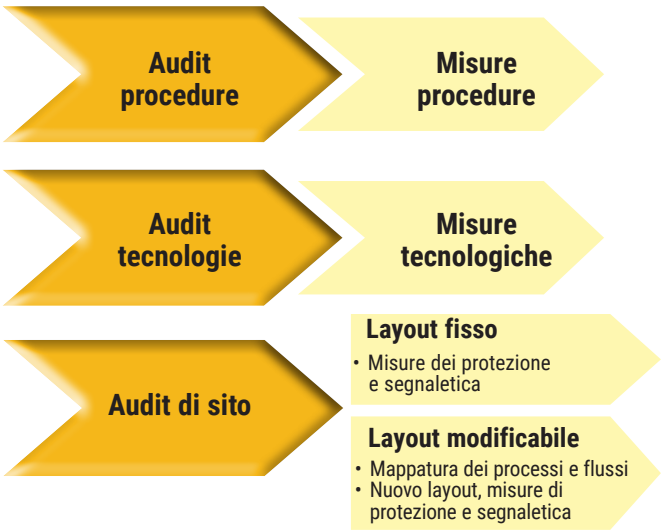
Infine, bisogna registrare i dati e le analisi nel documento di valutazione dei rischi e rivedere regolarmente questa valutazione per tenere conto di eventuali cambiamenti, come l'introduzione di veicoli di nuova tipologia, la modifica dei flussi veicolari o la variazione delle operazioni di lavoro.

IL CONTESTO

In uno stabilimento produttivo, gli spazi interni e la viabilità spesso sono il risultato di uno sviluppo del sito avvenuto nel corso degli anni in modo non organico, per aggiunte successive alla configurazione originaria. La gestione di tale viabilità costituisce quindi un fattore chiave per ottimizzare i processi e soddisfare le esigenze di spostamento di persone e materiali. Allo stesso tempo, è importante considerare anche la gestione dei mezzi esterni che accedono al sito per attività quali l'approvvigionamento di materie prime, la spedizione e il carico dei prodotti finiti, la manutenzione ed altre attività.

Inoltre, va considerato che ogni sito produttivo presenta le proprie caratteristiche e peculiarità, che rendono unico ogni lavoro di analisi e adeguamento. Ad esempio, un sito che produce materiali ceramici per l'edilizia richiede ampi spazi coperti per lo stoccaggio delle materie prime (tipicamente materiali terrosi), per la cui gestione si rende necessario il supporto permanente di una pala meccanica. Una situazione diversa si presenta invece in un sito che produce tubi rigidi o corrugati in materiale plastico, nel quale il processo di approvvigionamento delle materie prime può richiedere spazi più contenuti, ma d'altra parte richiede in piazzale spazi per la circolazione dei carrelli elevatori ben più larghi, dato l'ingombro in larghezza derivante dal trasporto di un fascio di tubi rigidi sui carrelli elevatori.

Un altro esempio può riguardare un sito di cogenerazione che utilizza rifiuti nella produzione di energia. In questo caso, diventa necessario valutare correttamente gli spazi di manovra nella cosiddetta "Tipping Hall", ovvero nell'area nella quale i mezzi vengono posteggiati, in retromarcia, in apposite baie, per effettuare lo scarico del materiale nel bunker (da cui poi verrà avviato al processo di termovalorizzazione).



In generale, lo studio dei piani di viabilità aziendale prevede come elementi principali l'analisi delle procedure, delle dotazioni tecnologiche e del layout del sito. In particolare, per quanto riguarda quest'ultimo, l'approccio da seguire cambia in base alla possibilità di effettuare interventi di riprogettazione del layout stesso o meno.

LA PROGETTAZIONE DELLA MESSA IN SICUREZZA CON PROCEDURE E TECNOLOGIE

In ogni sito produttivo occorre definire procedure ed istruzioni riguardanti la circolazione interna di persone e veicoli. Il primo passo consiste nello studio e nell'analisi delle procedure eventualmente già esistenti.

Per adeguare le procedure può risultare conveniente fornire indicazioni specifiche per i diversi soggetti che si trovano ad essere presenti in modo permanente o temporaneo nel sito, in modo da rendere le stesse più immediate e facilmente comprensibili.

In molti siti produttivi è necessario adeguare le tecnologie per aumentare la consapevolezza dei soggetti "interferenti", come pedoni, ciclisti o conducenti di carrelli elevatori, sulla reciproca presenza e sui relativi movimenti. Questa fase di adattamento richiede una prima analisi della tecnologia esistente e del sito stesso, al fine di

individuare le problematiche e i principali punti di rischio, per valutare la correttezza e la completezza delle tecnologie già presenti. Qualora le tecnologie in uso risultassero insufficienti o inadeguate, sarà necessario analizzare le tecnologie disponibili sul mercato, al fine di identificare la soluzione più adeguata alle specifiche caratteristiche del sito, del layout e del rischio da mitigare.

Per migliorare la sicurezza sul luogo di lavoro, è possibile utilizzare un sistema tecnologico basato su tag attivi per i pedoni e sensori per le fonti di pericolo, come i carrelli elevatori. Questo sistema crea una consapevolezza reciproca tra operatori e fonti di pericolo, permettendo ad entrambi di essere a conoscenza della posizione e presenza dell'altro. In caso di situazioni pericolose, il sistema interagisce con l'ambiente, attivando allarmi visivi e sonori per avvisare l'operatore. L'intervallo di attivazione del sistema può essere regolato in base al tipo di dispositivo rilevato e non richiede il contatto visivo, funzionando anche in presenza di angoli ciechi o scarsa visibilità.
L'utilizzo di tag attivi permette anche il tracciamento dei movimenti dei lavoratori, con un conseguente incremento della sicurezza in caso di emergenza. Inoltre, si può integrare un sistema "anti-crushing" che avvisa con allarmi sonori se si supera una soglia di tempo massimo di permanenza in un'area a rischio. La tecnologia può prevedere inoltre l'utilizzo di sensori fissi, come quelli sulle pareti o sui soffitti, per delimitare aree "safe zoning", in cui il carrello elevatore adatta automaticamente le funzioni di sicurezza. Il sistema può anche interagire con l'ambiente circostante, ad esempio aprendo porte sezionali o attivando impianti semaforici, il che risulta utile in zone con scarsa visibilità dove si può richiedere la limitazione automatica della velocità o l'accensione dei fari.

Il supporto tecnologico può essere ottenuto anche attraverso l'uso di dispositivi carrabili che vengono posizionati sulla pavimentazione al fine di creare delle aree in cui definire le performance del carrello elevatore. Un utilizzo particolarmente interessante per ciò che concerne la viabilità interna può essere l'applicazione attorno alle baie di carico in cui, si creano zone ad alta interferenza pedone-veicolo. In tale contesto, i tag installati possono intervenire direttamente sul controllo delle velocità dei carrelli elevatori. Un'ulteriore applicazione di questo apparecchio può essere quella di creare barriere virtuali, ad esempio a protezione dei pedoni in determinate aree. Tali barriere, facili da spostare, sono perfette per soluzioni temporanee.

L'ANALISI DEL SITO

Lo studio del sito dal punto di vista della viabilità deve considerare tutte le attività di trasporto e di movimentazione dei prodotti. Inizialmente, può essere utile osservare tutti i veicoli e i pedoni che si muovono nello stabilimento e riportare su una planimetria i flussi e i movimenti dei pedoni per valutare le zone di interazione. È importante anche includere attività meno frequenti, come le manutenzioni, e considerare i conducenti delle consegne.
Per valutare i rischi correlati alla viabilità, è necessario valutare la tempistica legata ai diversi processi, in modo da ridurre il numero di persone che si trovano simultaneamente ad operare in una determinata area. In questa fase, è importante valutare la configurazione del sito in termini di localizzazione degli elementi fissi e mobili. Gli elementi fissi sono costituiti dagli edifici di produzione e dalle aree definite in modo permanente per assolvere ad un determinato scopo, mentre gli elementi mobili includono gli spazi creati per effettuare lo stoccaggio di merci, materie prime, attrezzature varie, ecc.

Lo studio del sito consente di valutare le zone effettivamente utilizzate e quelle che non lo sono. Integrando con una mappatura dei varchi e dei portoni presenti ed utilizzati, è possibile ottenere una rappresentazione chiara dello stato attuale e avere delle prime indicazioni su possibili interventi migliorativi. L'analisi del sito permette

quindi di valutare il layout aziendale e individuare tutte le situazioni di rischio presenti nello stabilimento.
La complessità dei siti produttivi rende particolarmente importante gestire nel migliore dei modi i flussi veicolari interni, composti tipicamente da: mezzi interni, mezzi esterni che accedono quotidianamente al sito, veicoli dei dipendenti e, eventualmente, veicoli dei visitatori. Lo scopo dell'analisi è di ricostruire i flussi (a livello di origine, destinazione, percorsi, periodicità, ecc.) al fine di determinare le criticità presenti ed individuare le possibili soluzioni per la riduzione dei rischi a cui sono esposte le persone operanti nel sito. Lo studio viene condotto in funzione delle diverse tipologie di mezzi che transitano all'interno del sito produttivo, e occorre pertanto effettuare un'analisi sulle tipologie di mezzi, differenziando i mezzi interni dai mezzi esterni.

RIDEFINIZIONE DEL LAYOUT

Per garantire la sicurezza delle persone e l'efficienza dei processi, un sito ben progettato (se si parte da zero) deve prevedere una adeguata separazione dei flussi di veicoli e persone. Un elemento fondamentale per il raggiungimento di questo obiettivo è la pianificazione del layout, che deve essere accuratamente analizzato e studiato per determinare la migliore configurazione possibile.
In caso di siti già esistenti, la ridefinizione della viabilità prevede l'adozione di criteri specifici per garantire la sicurezza dei pedoni e dei veicoli. Questa dovrebbe essere effettuata sulla base di un piano dettagliato che regoli la circolazione interna ed esterna dell'azienda, tenendo in considerazione l'eventualità di semplificare e rendere più sicuro il lavoro svolto, e riducendo al minimo il movimento dei veicoli all'interno del sito.

Il primo criterio prevede la differenziazione tra i percorsi pedonali e quelli veicolari, in modo da consentirne l'utilizzo in piena sicurezza. L'adozione di percorsi pedonali sopraelevati rispetto al piano stradale rappresenta un'ulteriore misura di sicurezza per i pedoni, proteggendoli dal rischio di investimento da parte dei veicoli.

Il secondo criterio consiste nella progettazione di percorsi veicolari a senso unico, al fine di ridurre le manovre di retromarcia, che rappresentano una delle principali cause di infortunio nelle aree aziendali. Generalmente, e ove possibile, il flusso di traffico unidirezionale è impostato in senso antiorario, poiché questa è la direzione che la maggior parte dei conducenti si aspetta, salvo motivazioni specifiche legate alla sicurezza.

Nelle zone in cui si rendono necessarie manovre di inversione di marcia, è importante adottare misure specifiche per ridurre il rischio di incidenti. Tra le possibili soluzioni, si possono installare barriere di protezione, stabilire e contrassegnare chiaramente le zone in cui effettuare la manovra, riprogettare o modificare le aree di inversione di marcia esistenti per migliorare la visibilità. Inoltre, si può pensare di escludere il personale non essenziale dalle aree di manovra, installare specchi o altri ausili per incrementare la visibilità, prendere in considerazione l'installazione di ausili per la retromarcia, come telecamere, laddove il veicolo è "interno" (cioè sotto il controllo dell'azienda). Infine, è importante seguire le indicazioni verbali e gestuali fornite dal personale a terra.
Spesso, semplici accorgimenti possono rivelarsi efficaci nel prevenire incidenti. Ad esempio, è importante progettare il nuovo layout in modo da ridurre il più possibile le intersezioni dei flussi veicolari e limitare le sterzate con raggio stretto.
Durante questa fase, è utile inoltre analizzare i flussi e valutare la possibilità di aprire nuovi varchi (se la configurazione del sito lo permette), al fine di limitare le interferenze e convogliare i flussi all'esterno o mantenere un flusso mono-direzionale. Il nuovo layout dovrebbe semplificare e ridurre i flussi e le operazioni di trasporto

interno, come la movimentazione degli stoccaggi.
Nel caso di zone particolarmente complesse, si potrebbe considerare l'utilizzo di una rotatoria per agevolare il passaggio e ridurre i rischi. Nel caso di incroci a raso molto complessi, in cui per motivi di spazio non risulta possibile l'adozione di una rotatoria, si potrebbe optare per un incrocio regolato con stop, in modo che un solo veicolo possa occupare lo spazio alla volta. Nelle zone di intersezione, per facilitare le manovre di sterzata e prevenire l'invadenza nella corsia opposta nelle aree a doppio senso, è consigliabile prevedere un allargamento della corsia.
In generale, durante la riprogettazione, sarebbe preferibile se possibile creare una zona regolamentata all'esterno dell'azienda con posti di parcheggio tracciati al suolo, in cui i mezzi pesanti possano sostare in attesa dell'orario di chiamata. In quest'area, si potrebbero installare dei sistemi di informazione per i conducenti degli automezzi, come pannelli luminosi e autoparlanti, in grado di fornire informazioni e in particolare l'autorizzazione all'accesso, in modo che tutte le operazioni avvengano in maniera ordinata, evitando sovrannumero di veicoli all'interno dello stabilimento.

Quando si ridefinisce il layout di un sito, è importante inoltre considerare anche la disposizione delle luci, in modo da evitare l'abbagliamento. Il posizionamento delle luci può essere cruciale, in quanto i veicoli alti potrebbero ostacolare l'illuminazione. Pertanto, le luci dovrebbero essere posizionate sopra gli spazi tra le baie dei veicoli, anziché al centro della baia, dove un veicolo alto potrebbe oscurarle. Inoltre, se i conducenti devono fare retromarcia in direzione di luci molto forti, queste dovrebbero essere posizionate e inclinate in modo da non abbagliare il conducente direttamente o nei suoi specchietti. Infine, le aree in cui si lavora intorno ai veicoli in movimento durante le ore notturne dovrebbero sempre essere ben illuminate.
Nella progettazione è fondamentale inoltre prevedere percorsi liberi da ostacoli per i mezzi di soccorso, nonché individuare aree di carico-scarico strategiche che non ostacolino il flusso veicolare e che siano lontane da incroci e zone ad alto traffico. Nel progetto si cercherà inoltre di collocare il maggior numero possibile di baie in un'area, per consentire il carico o lo scarico al maggior numero possibile di veicoli contemporaneamente. Tuttavia, è importante che ci sia abbastanza spazio intorno ai posteggi per consentire ai veicoli di entrare e uscire in sicurezza dalla baia e che gli operatori si possano muovere intorno al veicolo in sicurezza e senza difficoltà. In questa fase vanno individuate anche le zone nelle quali riposizionare eventuali stoccaggi che dovessero, a seguito della analisi iniziale, risultare non idonei a livello di posizionamento (ad esempio in quanto limitano la visibilità ai conducenti dei veicoli o in quanto possono costituire un ostacolo).

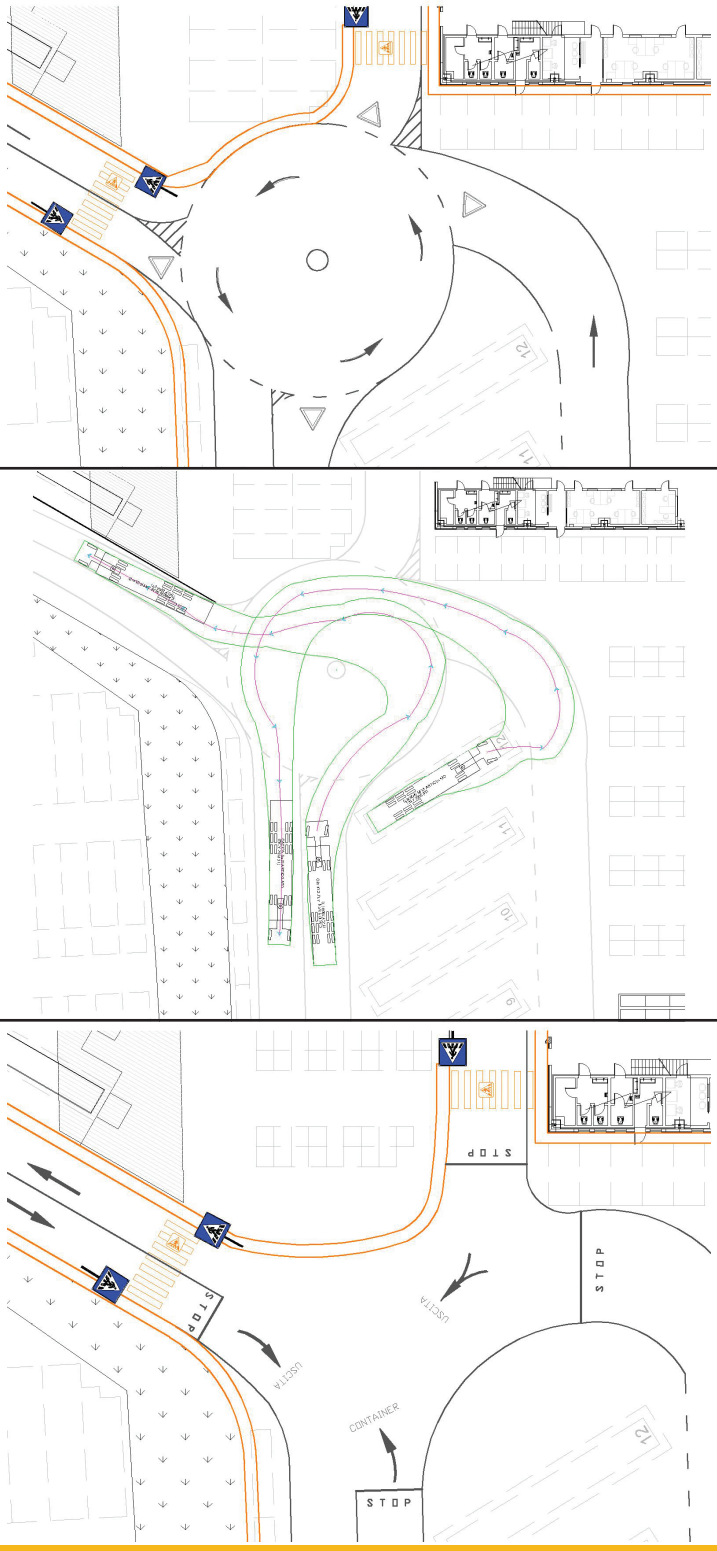
Il rischio che si verifichino incidenti può essere maggiore in determinati momenti. Le valutazioni del rischio dovrebbero tener conto dei periodi in cui il numero di veicoli o pedoni si spostano lungo le vie di circolazione, ad esempio quando si ha il cambio turno. In questo contesto si può prevedere l'ipotesi e lo studio del riposizionamento degli elementi fisici, in modo da diminuire al minimo indispensabile il percorso per i veicoli e di conseguenza limitare il tempo di possibile interferenza. In caso di modifica della localizzazione di servizi d'uso collettivo, è preferibile che questi siano situati sul tragitto che i lavoratori compiono per uscire dall'impianto.
Occorre definire chiaramente le aree di parcheggio, sia per i dipendenti (ed eventualmente visitatori), sia per i mezzi pesanti. Tali aree devono essere distinte e separate, e progettate in modo tale da non presentare dei rischi per il pedone. In caso di pericolo ed interferenze con mezzi in movimento, è opportuno valutare la disposizione di percorsi pedonali protetti. L'area di parcheggio dipendenti è preferibile che sia collocata in prossimità dell'entrata degli uffici e degli spogliatoi. È comunque da prediligere una posizione che sia al di fuori delle vie di transito destinate all'attività aziendale come ad

esempio: consegne, spedizioni e movimentazione interna (al fine di circoscrivere al minimo le interferenze). In questa fase, può essere utile infine prevedere la verifica delle traiettorie, ad esempio mediante l'utilizzo di software che simulino le manovre dei veicoli, in modo tale da verificare il corretto passaggio del mezzo più ingombrante, sempre nell'ottica di facilitare il più possibile la circolazione dei mezzi (soprattutto quelli pesanti) e limitare il più possibile le manovre di retromarcia.

DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI DETTAGLIO

La segnaletica sul luogo di lavoro è fondamentale per garantire la sicurezza dei lavoratori e prevenire potenziali rischi. Essa deve consentire agli utenti di comprendere chiaramente la viabilità e distinguere le diverse aree e destinazioni. Inoltre, è importante che indichi l'organizzazione generale degli spostamenti del personale e dei mezzi di trasporto e informi sulla presenza di pericoli legati alla viabilità. Per garantire un progetto funzionale e sicuro, è consigliabile adottare norme di circolazione e segnaletica analoghe a quelle vigenti sulle strade pubbliche, in modo da renderle facilmente riconoscibili.

La segnaletica orizzontale è utilizzata per: delimitare le corsie di marcia, rappresentare gli attraversamenti pedonali, segnalare ostacoli fissi, indicare pericoli particolari e definire posti di parcheggio e percorsi pedonali. La segnaletica a terra deve essere accompagnata da una segnaletica di avvertimento verticale, che deve essere posizionata in modo da essere visibile a tutte le



In questo box si riporta un esempio di analisi condotta per definire la segnaletica in corrispondenza di un incrocio interno ad un sito industriale, interessato da passaggi di mezzi pesanti. Nella prima immagine si riporta una prima ipotesi, relativa alla definizione di uno schema a rotatoria. Nella seconda immagine si riporta il risultato della simulazione delle traiettorie e degli ingombri (ipotetici) dei mezzi pesanti impegnati nelle manovre più gravose di attraversamento dell'incrocio. La valutazione tecnica ha portato ad escludere tale soluzione, per pervenire ad una configurazione dell'incrocio regolato tramite stop (Figura 3), poi effettivamente realizzato nel sito oggetto di analisi.

tipologie di mezzi che circolano nel sito e deve essere dotata di pellicola rifrangente per garantire una buona leggibilità in ogni condizione di luce. Le vie di circolazione devono essere chiaramente contrassegnate per evitare movimenti di veicoli non consentiti. Gli spazi devono poi essere sufficientemente larghi per consentire le manovre dei veicoli più grandi. Bisogna inoltre, per quanto possibile, evitare angoli ciechi, e in caso contrario è importante prevedere l'installazione di specchi curvi.

Per le aree di parcheggio delle auto, è preferibile la collocazione dei posti di stazionamento "a spina", ovvero inclinati di 45-60° contrariamente al senso di marcia, in modo da favorire la manovra d'uscita grazie alla miglior visibilità. Le aree di parcheggio per veicoli pesanti devono essere realizzate in funzione dell'ingombro del veicolo e devono prevedere uno spazio libero antistante gli stalli di parcheggio per agevolare le manovre di uscita.

Infine, per garantire la sicurezza dei lavoratori e dei mezzi, è necessario definire un limite di velocità adeguato a ciascun sito produttivo, considerando le caratteristiche della viabilità, come il tracciato, le curve, la visibilità agli incroci e gli attraversamenti pedonali. In generale, per i siti industriali e produttivi, è consigliata una velocità massima di 10-15 km/h, che deve essere ridotta nelle zone ad elevata interferenza o nelle aree di minor visibilità.

In questi siti, diversamente da alcune soluzioni adottate sulle strade, si cerca di evitare l'uso di dossi come dispositivi di rallentamento della velocità, poiché costituiscono un pericolo per i carrelli elevatori, in quanto possono compromettere la stabilità del veicolo e causarne il ribaltamento.

Nei luoghi in cui non è possibile separare il traffico veicolare da quello pedonale, si dovrebbero adottare misure mirate per ridurre il rischio, come l'installazione di barriere di protezione o cordoli. Per quanto riguarda quest'ultimi, è importante scegliere la tipologia e i materiali adeguati in base alla localizzazione e allo scopo desiderato. Nelle aree in cui sono presenti le uscite da edifici o delle vie che immettono direttamente nel flusso di traffico, dovrebbero essere installate barriere fisse di protezione per evitare investimenti. Nelle zone di carico e scarico, in cui ci sono carrelli elevatori in movimento costante, può essere utile creare piazzole rialzate per proteggere i conducenti dei camion durante le operazioni di carico e scarico, garantendo un ambiente di lavoro sicuro per i carrellisti.

CONCLUSIONI

Per redigere un piano di viabilità aziendale efficace è necessario prendere in considerazione molteplici aspetti. Il progetto deve avere come obiettivo non solo la riduzione dei rischi presenti, ma anche l'ottimizzazione dei processi produttivi, con una maggiore efficienza e una migliore gestione degli spazi disponibili.

Per realizzare un buono studio, è indispensabile acquisire una conoscenza completa del sito produttivo, analizzando tutti gli aspetti che lo caratterizzano, come le attività svolte, i mezzi utilizzati, gli operatori presenti e i flussi veicolari. È importante inoltre esaminare il sito in ogni suo dettaglio, per individuare eventuali criticità e progettare interventi calibrati in base alle specifiche esigenze.

La promiscuità di carrelli elevatori e pedoni è un serio fattore di rischio, per cui è necessario adottare misure atte a minimizzare i pericoli. È importante separare le attività pedonali dalle zone di transito dei mezzi, ove possibile, soprattutto nei siti aperti ai visitatori. È necessario inoltre definire e segnalare chiaramente i percorsi pedonali e i luoghi di attraversamento, fornendo segnali di avvertimento e istruzioni chiare e puntuali.

Va sottolineato che l'analisi della viabilità aziendale non si esaurisce con una analisi una-tantum, poiché i processi produttivi sono in continua evoluzione e richiedono periodiche revisioni. È necessario, pertanto, adottare un approccio di miglioramento continuo, improntato agli obiettivi di efficienza, sicurezza e sostenibilità.