

**INDUSTRIAL PLANTS FOR BULK MATERIALS HANDLING
“XXVIII CONGRESSO CTA”, FRANCAVILLA AL MARE 2022**

**GLI IMPIANTI INDUSTRIALI PER LA MOVIMENTAZIONE DI
MATERIALI SFUSI
“XXVIII CONGRESSO CTA”, FRANCAVILLA AL MARE 2022**

Daniela Zucchetti, Riccardo De Col
DCRPROGETTI srl
Milano, Italia
d.zucchetti@dcrprogetti.it
r.decol@dcrprogetti.it

Sergio Foa
S. Bernardino, Svizzera
sergio.foa@bluewin.ch

ABSTRACT

The aim of this document is to illustrate the peculiarities that characterize a particular sector within industrial plants, that is the one that deals with the handling of bulk materials. A first part will be used to describe the various equipment that make up the plant, such as the different types of conveyors, belts, driving and tail heads, counterweights, hoppers and all the other fundamental elements for the loading, handling, unloading and storage of materials. It then continues with the identification of typical loads, "special" loads and the various stresses induced by handling. Finally, structural elements and types that are best suited to the service of the aforementioned equipment are identified, such as bridge beams, galleries, bents, loading towers, unloading towers or distribution towers with a focus on the main structural problems to be taken into account in the design.

SOMMARIO

Questo documento si propone di illustrare le peculiarità che caratterizzano un particolare settore all'interno degli impianti industriali, ovvero quello che si occupa della movimentazione di materiali sfusi. Una prima parte sarà destinata alla descrizione delle varie apparecchiature che compongono l'impianto, come le diverse tipologie di nastri trasportatori, i tappeti, le testate motrici e di rinvio, i contrappesi, le tramogge e tutti gli altri elementi fondamentali per il carico, la movimentazione, lo scarico e lo stoccaggio dei materiali. Si prosegue poi con l'identificazione dei carichi tipici, dei carichi "speciali" e delle varie sollecitazioni indotte dalla movimentazione. Infine si identificano gli elementi e le tipologie strutturali che meglio si adattano al servizio delle sopracitate apparecchiature, come travi ponte nastro, gallerie, stilate, torri di carico, di scarico o di smistamento con un focus sulle principali problematiche strutturali da tenere in conto nella progettazione.

1 INTRODUZIONE

Quello degli impianti industriali è un settore che interessa l'attività di molti ingegneri strutturisti che lavorano nel campo dell'acciaio. Questo ambito spesso è poco valorizzato in relazione alle sue caratteristiche architettoniche ed estetiche considerate meno affascinanti rispetto alle più importanti strutture civili o alle grandi opere infrastrutturali, quindi è talvolta pensiero comune che gli impianti industriali siano caratterizzati da strutture di secondaria importanza e di scarsa complessità che non necessitano particolare attenzione durante la progettazione o addirittura non necessitano alcuna progettazione.

A onor del vero, gli impianti industriali, e in particolare gli impianti di movimentazione di materiale le cui peculiarità saranno trattate in seguito, sono frequentemente caratterizzati da complesse esigenze impiantistiche che influiscono potentemente sulle scelte strutturali e possono introdurre nella progettazione molte variabili, quali irregolarità nella geometria, distribuzioni non uniformi delle masse e delle rigidezze, significative eccentricità e spostamenti, vibrazioni e carichi di considerevole entità.

Questa breve trattazione ha lo scopo di illustrare le caratteristiche salienti degli impianti di movimentazione, con qualche accenno alle principali variabili che intervengono nella progettazione e le tipologie strutturali che meglio si adattano alle esigenze di impianto.

2 ELEMENTI COSTITUTIVI

Gli impianti industriali di movimentazione hanno la funzione di trasportare materiale di diversa tipologia proveniente da stabilimenti di produzione (coke, fertilizzanti, prodotti siderurgici, derivati da trattamenti chimici e ambientali) o siti di estrazione (cave di inerti o carbone, granaglie) verso aree di stoccaggio.

Il materiale, che può essere sfuso o in sacchi, viene movimentato mediante nastri trasportatori che, a seconda delle caratteristiche del prodotto e del sito, possono avere:

- capacità variabile tra 1000 e 15000 t/h
- larghezza da 400 fino a 2200 mm
- lunghezza da qualche decina di metri a oltre 6-7 km
- velocità da meno di 1 m/s (3.6 km/h) fino a 6 m/s (21.5 km/h).

Lungo il percorso dei nastri sono presenti torri di trasferimento, distribuzione e lavorazione intermedie.

E' frequente la presenza di magazzini di stoccaggio temporaneo con specifiche apparecchiature di messa a parco; la ripresa, in genere meccanizzata, movimenta il materiale verso aree di insacco o di spedizione mediante treno, autocarro o nave.

Il percorso del materiale può avvenire anche in senso inverso, ovvero dallo scarico da autocarri, treni e navi verso le aree di produzione e lavorazione.

2.1 I nastri trasportatori

Un nastro trasportatore è un dispositivo in grado di trasferire con continuità i materiali che trasporta sul tappeto. La parte superiore (di andata) e inferiore (di ritorno) del tappeto poggiano su stazioni a rulli sostenute da telai metallici (bancali). Alle due estremità del convogliatore sono presenti tamburi (motori e folli), montati su testate e su dispositivi di tensionamento, che garantiscono l'avvolgimento del tappeto fra i rami di andata e ritorno e lo mantengono in tensione. Le azioni di tiro che permettono il moto del convogliatore, spesso di significativa entità (fino a 100 t e oltre), vengono trasmesse dalle testate alle strutture di supporto.

L'utilizzo di adeguati dispositivi di pulizia del tappeto nei punti di alimentazione e di scarico assicura una maggiore durata delle installazioni e una minore manutenzione.

La presenza di dispositivi di sicurezza garantisce il corretto funzionamento del sistema bloccando la macchina nel caso di anomalie o emergenze.

Si illustrano in seguito nel dettaglio alcune delle componenti principali che costituiscono un convogliatore a nastro, con riferimento alla seguente figura:

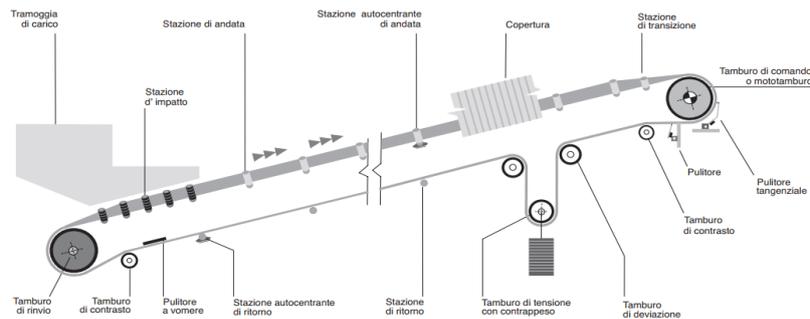


Fig. 1. Configurazione schematica di un nastro trasportatore

Tappeto

Uno dei componenti principali del convogliatore a nastro è il tappeto in gomma, che svolge la doppia funzione di contenere il materiale trasportato e trasmettere il moto.

Generalmente si possono individuare due tipi di tappeto:

- ad anima tessile, adatto a tiri modesti e lunghezze limitate
- ad anima in acciaio o "steel chord", adatto a tiri significativi e lunghezze importanti

Per entrambe le tipologie sono previsti rivestimenti in gomma anti-usura superiori e inferiori in funzione delle caratteristiche tecniche dell'impianto e delle proprietà del materiale trasportato.

Il nucleo resistente è interessato da deformazioni sia elastiche che anelastiche, quindi nel tempo tende a "rilassarsi" generando allungamenti del tappeto e conseguenti perdite di tensione. Per questo motivo è necessario intervenire periodicamente sulla regolazione del dispositivo di tensionamento oppure, quando le deformazioni permanenti raggiungono entità consistenti, sulla lunghezza del tappeto con un "accorciamento" dello stesso e una rivulcanizzazione dei lembi tagliati. La percentuale di allungamento dei tappeti ad anima tessile è pari al 2-3%, quella ad anima in acciaio al 2-3 ‰.

Tamburi

I tamburi, che hanno il compito di deviare il tappeto e, nel caso di tamburo di comando, trasmettere il moto al nastro, sono montati su telai metallici definiti "testate".

Una testata di comando può sostenere uno o più tamburi collegati a gruppi motore che hanno la funzione di azionare e garantire il movimento in continuo del convogliatore. La trasmissione della coppia motrice prodotta dai gruppi di comando avviene mediante attrito alle superfici di contatto tra tappeto e tamburo.

Il collegamento fra gruppi motore e tamburo può essere diretto o con giunti a denti. Per rendere l'avvio graduale sono previsti sistemi di smorzamento (giunti idraulici) o, per potenze significative, variatori di frequenza (inverter).

Larghezza e diametro dei tamburi sono strettamente connessi alle caratteristiche del tappeto e alle potenze installate.

Sulla testata di rinvio (o coda), posta all'estremità opposta del nastro rispetto a quella di comando, alloggia il tamburo di rinvio, generalmente non motorizzato e di diametro inferiore. Su nastri di

notevole lunghezza, anche il tamburo di coda può essere motorizzato (booster) per sopperire alle perdite di tensione.

E' frequente la presenza di tamburi di contrasto, per aumentare l'angolo di avvolgimento del nastro e quindi la potenza trasmessa, o di tamburi di deviazione connessi ai dispositivi di tensionamento del tappeto.

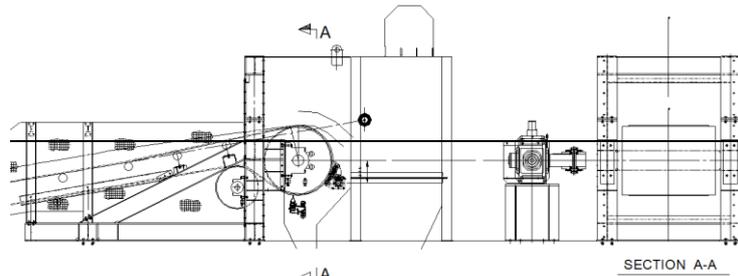


Fig. 2. Testata motrice

Rulli

I rulli rappresentano una parte importante della meccanica del convogliatore a nastro.

Quelli superiori sostengono il tappeto di andata e ne devono garantire lo scorrimento regolare sotto il carico del materiale, quelli inferiori sostengono il ramo di ritorno.

Le stazioni di andata (portanti) sono generalmente composte da 3 rulli (terne), uno centrale piano e due laterali inclinati tra i 20° e i 45°, mentre le stazioni di ritorno possono essere piane con rullo singolo (per larghezze di tappeto fino a 1200 mm) oppure a "V" con rulli in coppia inclinati di circa 10° per larghezze superiori.

L'interasse tra le stazioni dipende dalla portata del nastro (in funzione della sua larghezza e del peso specifico del materiale trasportato) in quanto deve essere tale da mantenere la freccia di inflessione del tappeto tra due stazioni consecutiva inferiore al 2% dell'interasse stesso.

In generale le stazioni di andata sono poste ad interasse da 1 a 1.5 m mentre quelle di ritorno ad interasse 3 m. In corrispondenza dei punti di carico il passo tra le stazioni è pari a 300-400 mm e sostituito con rulli ad anelli amortizzanti.

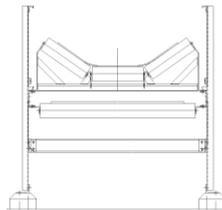


Fig. 3. Stazioni a rulli

Sistemi di tensionamento

Sono dispositivi importanti che hanno la funzione di garantire il corretto tensionamento del tappeto e quindi la funzionalità della macchina.

Ci sono diverse tipologie di tenditori normalmente impiegate: a vite, a contrappeso e ad argano motorizzato.

I tenditori a vite sono utilizzati per nastri di lunghezze relativamente ridotte (30 - 40 m). In questo caso in seguito alla messa in tensione del nastro, l'estensione del tenditore rimane costante e cambia nel tempo la tensione nel tappeto a causa del suo rilassamento elastico o permanente. Tramite dei fine-corsa è possibile sapere quando è necessario ritendere il tappeto intervenendo sul tenditore a vite.

Per tutti gli altri nastri si utilizzano invece i tenditori a contrappeso mobile o, meno frequentemente e in casi speciali o spazi ridotti, ad argano motorizzato.

Con questi sistemi il dispositivo conferisce al nastro una tensione costante nel tempo e le variazioni di lunghezza del tappeto sono compensate dalla corsa del contrappeso lungo delle guide o, per quelli ad argano, dalla regolazione del motore in modo da sopperire alle perdite di tensione.

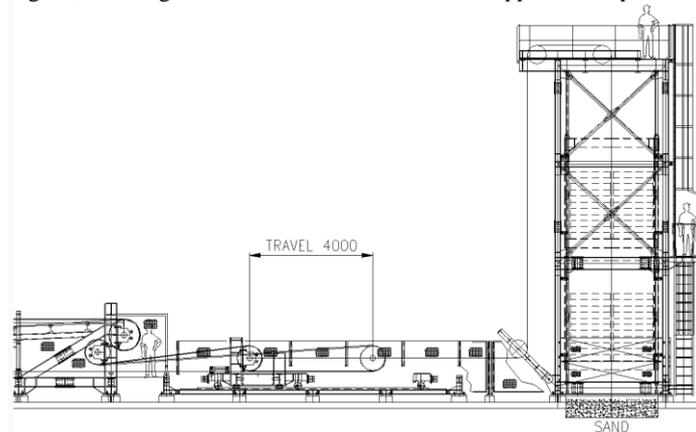


Fig. 4. Testata motrice e tenditore a contrappeso

Tramogge e scivoli

Nella zona di carico del nastro sono previsti degli scivoli con lo scopo di convogliare il materiale nella parte centrale del nastro da caricare, in modo da rendere il flusso di materiale il più regolare possibile limitando gli urti. Per volumi maggiori di materiale, come per esempio nelle zone di scarico su camion, sono invece previste delle tramogge in grado anche di trattenere il materiale mediante delle serrande oppure di distribuirlo progressivamente mediante alimentatori vibranti posti nei pressi della bocca di uscita.

Dispositivi di pulizia

Un nastro in esercizio richiede di essere costantemente pulito in base al tipo e alle caratteristiche dei residui lasciati su di esso dal materiale trasportato. Tali residui, se non rimossi, possono compromettere la funzionalità dei rulli di ritorno con la formazione di incrostazioni. Per questo si prevedono dei dispositivi di pulizia sotto forma di raschiatori o spazzole posti nei pressi dei tamburi a contatto con il tappeto.

Sistemi di sicurezza

Per garantire il corretto funzionamento dei convogliatori a nastro e prevenire eventuali incidenti sono previsti dei sistemi di sicurezza, in grado di bloccare la macchina se registrano anomalie.

Tali sistemi sono costituiti da interruttori che possono avere diverse funzioni:

- rilevazione della tensione del nastro
- rilevazione delle deviazioni (sbandamento laterale) del nastro
- segnalazione intasamenti e sovraccarichi negli scivoli
- rilevazione di slittamento (perdita di aderenza) tra il nastro e il tamburo motore
- rilevazione di rotture o lacerazioni del tappeto

Inoltre, dove necessario e a seconda del materiale trasportato, vengono posizionati sopra il nastro dei "metal detector", associati spesso a separatori magnetici, che rilevano la presenza di parti ferrose, responsabili spesso di pesanti danneggiamenti al tappeto e alle parti meccaniche, e le eliminano.

Elementi accessori

Per lo scarico del materiale nei parchi o nei sili di stoccaggio, possono essere presenti particolari sistemi di distribuzione :

- Tripper: telai mobili conglobati col nastro, in grado di scaricare il prodotto muovendosi in continuo (ad esempio nei parchi di stoccaggio) o scaricando il prodotto in modo discreto (ad esempio nei sili) una volta raggiunta la relativa posizione di carico.
- Navette mobili: convogliatori a nastro di lunghezza limitata (15-40 m) e piani aventi la medesima funzione dei tripper.
- Alimentatori vibranti: tavole di carico che servono a dosare con una portata prefissata il carico di un convogliatore; sono utilizzati alle estrazioni delle tramogge o per l'alimentazione di sistemi di selezione granulometrica del prodotto negli impianti di vagliatura.

2.2 Le torri di trasferimento

Le torri di trasferimento sono posizionate negli snodi cruciali dell'impianto.

Esse hanno la funzione di ricevere il materiale dai nastri in arrivo, elaborarlo se previsto tramite frantumazione o vagliatura, e smistarlo verso i nastri in uscita o indirizzarlo a punti di scarico.

Ai diversi piani delle torri si trovano quindi alloggiati le testate di comando e di rinvio dei nastri, i macchinari per la frantumazione, i vagli per la selezione delle pezzature e scivoli, tramogge e deviatori per la distribuzione del materiale tra un convogliatore e l'altro.

Su ciascun piano devono essere previste adeguate aree di accesso agli operatori per l'ispezione e la manutenzione.

Ogni torre solitamente prevede un sistema di depolverazione con filtro a maniche per catturare le polveri che si generano nelle fasi di carico e scarico del materiale.

2.3 I magazzini di stoccaggio

I magazzini di stoccaggio sono sempre più frequentemente presenti negli impianti industriali di movimentazione di materiale sfuso per motivi legati alla protezione ambientale.

Si tratta di aree destinate alla messa a parco del materiale tramite nastri trasportatori sospesi al di sopra dell'area di formazione dei mucchi e alla ripresa dello stesso tramite macchine che operano in continuo (grattatrici) o, sempre meno frequentemente con pale meccaniche che caricano il prodotto in tramogge poste sui nastri di ripresa a terra per il trasporto all'esterno del magazzino.

3 PROGETTO DI UN NASTRO TRASPORTATORE

I fattori fondamentali che influiscono sul progetto di un convogliatore a nastro sono:

- portata I_v [t/h] richiesta dai dati di progetto

- caratteristiche del materiale (granulometria, proprietà chimico/fisiche, peso specifico q_s)

In funzione della portata e del tipo di materiale si sceglie la combinazione più conveniente di larghezza e velocità del nastro.

La velocità è influenzata dalle caratteristiche fisiche del materiale: materiali leggeri, vagliati o preselezionati possono raggiungere velocità di 8m/s; con l'aumento di pezzatura, abrasività e peso specifico è opportuno ridurre la velocità.

Aumentando la velocità si può ottenere la stessa portata con una larghezza inferiore del nastro, ottenendo quindi una struttura più compatta del convogliatore, una ridotta sollecitazione dei rulli e minore tensione sul nastro.

Ci sono dunque criteri standardizzati tabellati, basati su dati sperimentali, che permettono di equilibrare queste due grandezze in maniera efficiente fornendo un valore di velocità associato ad una larghezza minima del nastro.

Per determinare poi la larghezza effettiva del nastro si devono tenere in considerazione altre variabili:

- carico di rottura del nastro
- inclinazione λ dei rulli laterali della stazione
- portata volumetrica alla velocità di 1 m/s: $I_{VT} = I_v / (q_s * v)$
- angolo di sovraccarico β (che la superficie del materiale assume sul nastro in movimento)
- inclinazione del nastro

Inserendo tutti questi dati all'interno di specifiche tabelle e applicando alcuni fattori correttivi della portata legati all'inclinazione del nastro, si può ottenere la selezione della larghezza ottimale. Successivamente si possono definire gli interassi delle stazioni, anch'essi tabellati in funzione del peso specifico del materiale e della larghezza del nastro.

Si procede dunque alla determinazione delle sollecitazioni sul tappeto, calcolando lo sforzo tangenziale F_u alla periferia del tamburo motore, che deve vincere le resistenze passive che si oppongono al moto, ed è costituito da:

- sforzo necessario per muovere il nastro scarico (resistenza passiva di rulli, tamburi, ecc...)
- sforzo necessario per spostare il materiale (in orizzontale e in verticale)
- sforzo necessario per vincere resistenze secondarie dovute alla presenza di accessori quali scaricatori mobili, pulitori, ecc..

$$F_u = [L * C_q * C_t * f * (2 * q_b + q_G + q_{RU} + q_{RO}) \pm (q_G * H)] * 0.981 \text{ [daN]}$$

dove:

L = lunghezza del trasportatore misurata tra gli assi dei tamburi di estremità [m]

C_q = coeff. delle resistenze stimate degli accessori nastro (tabellato in funzione di L)

C_t = coeff. delle resistenze passive dovuto alla temperatura (tabellato in funzione della temperatura)

f = coeff. di attrito interno delle parti rotanti (tabellato in funzione della condizioni ambientali e manutentive dell'impianto)

q_b = peso del nastro per metro lineare [kg/m] (tabellato)

q_G = peso del materiale trasportato per metro lineare [kg/m]

q_{RU} = peso delle parti rotanti inferiori [kg/m] (tabellato in funzione della larghezza del nastro e del diametro dei rulli)

q_{RO} = peso delle parti rotanti superiori [kg/m] (tabellato in funzione della larghezza del nastro e del diametro dei rulli)

H = dislivello del nastro

Si calcola così la potenza minima necessaria al moto per la selezione del motore:

$$P = F_u * v / (100 * \eta)$$

dove:

η = efficienza del riduttore

Lo sforzo periferico F_u richiede una coppia motrice data dalla differenza delle tensioni T_1 e T_2 rispettivamente nel ramo superiore e inferiore del tappeto:

$$F_u = T_1 - T_2$$

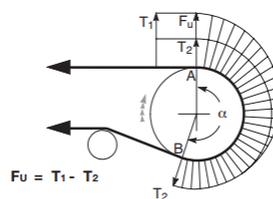


Fig. 5. Variazione della tensione attorno al tamburo motore

Imponendo la condizione limite di aderenza tra nastro e tamburo si ottiene:

$$T_1/T_2 = e^{\mu\alpha}$$

dove:

μ = coefficiente di attrito tra nastro e tamburo

α = angolo di avvolgimento del nastro

Quindi dalle relazioni precedenti:

$$T_1 = F_u + T_2$$

$$T_2 = F_u * [1 / (e^{\mu\alpha} - 1)] = F_u \times C_w$$

dove:

C_w = fattore di avvolgimento (tabellato in funzione di α e del tipo di tenditore)

Il dimensionamento del diametro dei tamburi di comando è legato alle caratteristiche del tappeto utilizzato. I diametri minimi sono tabellati in funzione del carico di rottura e del tipo di tappeto, con inserti tessili o metallici.

Anche i diametri consigliati dei rulli sono tabellati in relazione in relazione alla velocità e alla larghezza del nastro.

4 TIPOLOGIE STRUTTURALI

Per il supporto dei nastri trasportatori e per la realizzazione delle torri di trasferimento e dei magazzini di stoccaggio si ricorre generalmente a strutture metalliche.

Come già accennato in precedenza, tali strutture sono completamente a servizio dell'impianto quindi devono avere caratteristiche compatibili con esso in termini di geometria, schema statico e deformabilità oltre che requisiti di resistenza nei confronti dei vari carichi.

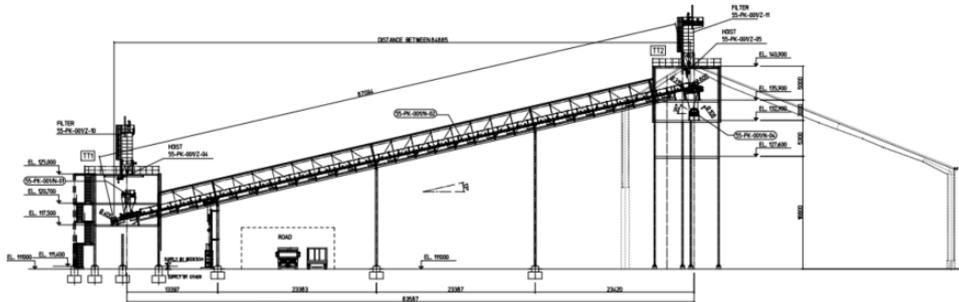


Fig. 6. Strutture supporto nastro, torri di trasferimento, magazzino di stoccaggio

4.1 Strutture di supporto nastri

Le strutture di supporto dei nastri sono generalmente degli impalcati piani per luci ridotte (fino a circa 10 m) mentre per luci maggiori si ricorre a strutture reticolari spaziali.

Nel caso di impalcato piano sono previste due travi longitudinali ad anima piena, affiancate a una distanza dettata dalla larghezza del nastro e dalla presenza delle relative passerelle di servizio e di manutenzione, opportunamente collegate da traversi posti a una mutua distanza regolare compatibile con la posizione delle stazioni del nastro e adeguatamente controventate. In questo caso il nastro appoggia completamente sopra la struttura mediante dei telai su cui sono montate le stazioni di andata e di ritorno.

Su luci fino a circa 25 m si realizzano travi reticolari spaziali, definite quindi "travi autoportanti", che presentano quattro correnti longitudinali, due superiori e due inferiori, collegati da traversi orizzontali e montanti verticali e opportunamente controventati su tutte le quattro facce.

In questo caso il ramo di andata del nastro scorre al di sopra delle briglie superiori mentre il ramo di ritorno sotto di esse e dunque la meccanica del nastro si integra completamente con la struttura di supporto.

Per luci superiori ai 25 m si realizzano invece delle “gallerie”, strutture reticolari spaziali di sezione maggiore rispetto alle travi autoportanti, nelle quali l'intero trasportatore è posto all'interno della galleria. All'interno delle gallerie si ha inoltre la possibilità di alloggiare anche due nastri paralleli con le relative passerelle.

Travi autoportanti e gallerie sono di fatto dei cassoni reticolari le cui fiancate verticali si prendono carico delle azioni derivanti dai carichi verticali mentre i collegamenti reticolari posti a livello delle briglie superiore e inferiore si prendono carico delle azioni orizzontali di vento e sisma. Le azioni orizzontali agenti a livello della controventatura superiore sono trasferite a livello di quella inferiore tramite dei portali rigidi di estremità. I portali, attraverso vincoli a cerniera eseguiti preferibilmente con perni, trasferiscono i carichi verticali e orizzontali agli appoggi verticali, che possono essere degli elementi verticali anch'essi reticolari, definiti “stilate”, o direttamente le torri di trasferimento.

Ogni struttura nastro è composta da una successione di travi isostatiche collegate tramite un sistema di vere e proprie cerniere sequenziali: ciascuna trave ha un'estremità “principale” che insiste direttamente sull'asse della stilata di appoggio e un'estremità “portata” che invece è incernierata ad una mensola sporgente dall'estremità principale della trave successiva. In questo modo si formano delle “catene” di travi che hanno, nei confronti della stabilità longitudinale, un punto fisso ad una estremità (possibilmente all'elevazione più bassa) e un punto scorrevole all'altra estremità in modo da neutralizzare gli effetti della temperatura sugli elementi strutturali e assorbire eventuali errori di costruzione o posizionamento delle fondazioni.

I carichi orizzontali trasversali per strutture di dimensioni limitate avviene tramite contatto fra le piastre che costituiscono i collegamenti di appoggio a cerniera, per strutture più impegnative per dimensioni e carichi avviene invece in corrispondenza dei traversi inferiori dei portali di estremità con un sistema maschio-femmina.

La lunghezza della struttura nastro tra punto fisso e punto scorrevole si determina in modo da generare spostamenti ammissibili nel punto scorrevole e compatibili con gli spostamenti orizzontali delle torri collegate dal nastro. Nel caso di strutture nastro di lunghezza considerevole esse possono essere scomposte in due o più catene di travi intervallate da torri di servizio che hanno la funzione di accogliere il punto scorrevole di una parte di convogliatore e il punto fisso della parte successiva.

Questa tipologia di strutture si rivela efficace da vari punti di vista:

- leggerezza rispetto ai carichi portati
- semplicità nella distribuzione degli sforzi
- semplicità nei collegamenti

Generalmente le strutture nastro sono protette da coperture o vere e proprie cappottature (nel caso delle gallerie) con la duplice funzione di proteggere il materiale dagli eventi atmosferici e proteggere l'ambiente da polveri o altre possibili dispersioni nocive.

4.2 Strutture per torri di trasferimento

Le torri di trasferimento sono strutture compatte, a pianta rettangolare con quattro o più colonne, con dimensioni planimetriche solitamente piuttosto ridotte in confronto all'altezza, interpiani non regolari e distribuzioni di carico discontinue sia in pianta che in alzata.

Come già espresso in precedenza gli schemi statici di queste strutture sono fortemente vincolati alle esigenze impiantistiche.

La soluzione più economica ed efficiente è realizzare strutture completamente controventate sulle pareti verticali in entrambe le direzioni principali in modo da consentire una ottimale distribuzio-

ne delle forze orizzontali negli elementi di controvento tramite semplici azioni assiali di compressione e trazione.

I controventi devono preferibilmente essere disposti in maniera omogenea e regolare lungo l'altezza della torre ma non sempre questo è possibile, infatti spesso per soddisfare le necessità di entrata e uscita dei nastri, la distribuzione è irregolare tanto da dover adottare in corrispondenza di alcuni interpiani delle strutture a telaio per l'impossibilità di inserire controventi che interferirebbero con gli elementi impiantistici.

Anche per gli impalcati sono previste fasce di controvento nelle due direzioni principali a cui affidare le azioni orizzontali che devono essere trasferite ai sistemi resistenti verticali e per gestire in maniera coerente aspetti torcenti legati alla distribuzione spesso non regolare delle masse su di essi.

4.2 Strutture per magazzini di stoccaggio

I magazzini di stoccaggio sono in genere ampie strutture monodirezionali, ovvero caratterizzate da una sezione trasversale costante che si ripete a intervalli regolari per una lunghezza che può raggiungere anche alcune centinaia di metri. Le dimensioni trasversali partono da un interasse di 30 m fra gli appoggi fino a 60 m e oltre.

Le sezioni trasversali si configurano come portali a falda inclinata incernierati alla base, reticolari o non, con una inclinazione media tra i 25° e i 45° strettamente connessa alle caratteristiche del materiale stoccato ovvero al suo angolo di attrito naturale in mucchio.

Il nastro che porta il materiale da stoccare si trova su strutture secondarie orizzontali appese alle centine principali.

La stabilità nei confronti delle azioni longitudinali è affidata a controventi sui fili longitudinali posizionati in modo tale da ridurre gli effetti delle dilatazioni termiche. Anche le falde vanno adeguatamente controventate per stabilizzare gli elementi compressi che compongono le centine.

Queste strutture risultano molto leggere rispetto al volume sotteso, quindi l'azione del vento, in particolare quella di trascinamento sulle ampie superfici longitudinali, può rivestire un ruolo fondamentale nella progettazione, anche superiore a quello del sisma.

REFERENCES

- [1] Rulmeca, Bulk handling
- [2] Dunlop – Enerka, Conveyor Belt Technique - Design and Calculation
- [3] A.Monte, Elementi di impianti industriali - IV edizione, 2003
- [4] S.Foa, Guida pratica alle costruzioni in acciaio, 2020

KEYWORDS

Impianti industriali, nastri trasportatori, handling, travi autoportanti, acciaio