

Il testo qui sotto riprodotto corrisponde ad una nota di istruzioni tecniche fornita da un cliente per la stesura di un nuovo brevetto.

Comando di trasloelevatori

La nostra società si occupa da molti anni della produzione di magazzini automatici. Un magazzino automatico è sostanzialmente assimilabile ad un grosso armadio o una grossa scansia con i prodotti (che possono essere del tipo e delle dimensioni più diverse) immagazzinati all'interno di vani o volumi che noi chiamiamo in gergo "loculi" (L nello schizzo allegato).

Una delle parti essenziali di un magazzino automatico è il cosiddetto trasloelevatore. Si tratta essenzialmente una sorta di gru comprendente un carrello motorizzato 10 che si muove (nei due versi) davanti al magazzino nella direzione che chiamiamo correntemente asse x. Sul carrello 10 del trasloelevatore è montata una struttura di guida verticale 12 (o "pennone", su cui è mobile verticalmente a salire e scendere, lungo un "asse y", un equipaggio 14 (o "culla"). Sulla culla 14 sono montati, con capacità di movimento lungo un terzo asse, denominato asse z ed ortogonale agli assi x ed y, elementi di presa (tipo forche mobili o simili) che sono in grado tanto di immettere quanto di prelevare i prodotti rispetto ai loculi L del magazzino automatico. Il movimento orizzontale del carrello 10 lungo l'asse x, il movimento verticale della culla 14 lungo l'asse verticale y ed il movimento degli elementi di presa montati sulla culla 14 lungo l'asse z sono comandati da un'unità di comando U. Di solito, questa è montata sul carrello 10 ed è comandata a distanza da una consolle di comando 16 montata a terra e costituita di solito da un PLC (Programmable Logic Controller) o da un PC di tipo industriale. Nello schizzo della figura 1 (che abbiamo preso da precedenti brevetti che avete già fatto per noi) il riferimento S indica una posizione di prelievo/deposito dei prodotti destinati ad essere stoccati/prelevati dal magazzino. Le singole operazioni di movimento ed anche l'ottimizzazione dei movimenti nel loro complesso (comprese operazioni di carico e di scarico parziale di prodotti in corrispondenza di loculi L diversi) sono gestite attraverso la consolle 16.

Per quanto riguarda questo nuovo brevetto tutta quanto detto in precedenza corrisponde completamente a soluzioni note.

Anche nel settore dei magazzini automatici c'è una costante tendenza a rendere più rapidi ed efficienti i criteri di funzionamento delle apparecchiature. In particolare, si cerca di fare in modo che il movimento di traslazione del carrello 10 lungo l'asse x (ad anche i movimenti della culla 14 lungo il pennone 12 e delle forche di carico/scarico) sia sempre più rapido. Per fare questo è però necessario impartire al carrello accelerazioni e decelerazioni piuttosto brusche tra la condizione di riposo (velocità v_0) e la velocità massima di movimento (velocità di crociera o v_{max}

Soprattutto quando la culla si trova a raggiungere loculi L che sono molto in alto, può succedere che il carrello 10 si trovi a decelerare bruscamente con la culla 14 (eventualmente appesantita

dai prodotti che sta portando) vicina alla sommità del pennone 12. Quando il carrello si ferma può allora nascere un fastidioso fenomeno di oscillazione del pennone 12 che porta la culla. Per questo motivo sulla culla 14 è montato un accelerometro A che rileva questi movimenti di oscillazione trasmettendo un corrispondente segnale all'unità di comando U. Questa in pratica "blocca" il trasloelevatore per tutto il periodo in cui le oscillazioni rilevate dall'accelerometro A presentano un'intensità superiore ad un certo valore di soglia.

Per mitigare questo inconveniente una soluzione abbastanza corrente (adottata tanto dalla nostra società quanto dai concorrenti) è quella di rendere meno brusco possibile il movimento di decelerazione del carrello 10 realizzando il movimento secondo una rampa lineare o, in modo preferito, secondo una rampa con una legge sinusoidale (quelle rampe che qualcuno chiama anche traiettorie \cos^2). Nello schizzo della figura 2 ho rappresentato una tipica rampa di decelerazione utilizzata nei nostri trasloelevatori di corrente produzione. In pratica (evito una trattazione troppo rigorosa proprio per rendere più semplice la spiegazione del concetto), il movimento d'arresto del carrello 10 avviene secondo una legge del tipo:

$$v(t) = v_{\max}(1 - \sin \omega_c t).$$

dove l'istante $t = 0$ è l'istante d'inizio della rampa di decelerazione ($v = v_{\max}$) e l'istante T_1 identifica l'arresto del carrello ($v = 0$). La pulsazione $\omega_c = 2\pi f_c$ identifica la frequenza o rapidità del movimento di decelerazione: più elevato è il valore della pulsazione/frequenza, più rapido è il movimento di decelerazione. Questa soluzione risulta -quasi sempre- soddisfacente. In alcuni casi, di cui fino a poco tempo fa non riuscivamo a darci spiegazione, succedeva però che non solo non riuscivamo ad evitare i fenomeni di oscillazione/vibrazione, ma addirittura insorgevano movimenti di vibrazione particolarmente forti che ci costringevano ad arrestare il funzionamento del trasloelevatore per intervalli di tempo piuttosto lunghi, aspettando che l'oscillazione/vibrazione si smorzasse. Adesso (per puro caso, durante un'installazione) abbiamo notato che lo spettro di frequenza del segnale in uscita dell'accelerometro A presentava, sia all'avvio, sia all'arresto del carrello 10, un tipico andamento a righe, con una prima riga abbastanza marcata alle basse frequenze ed una o più righe, di ampiezza più ridotta, a valori corrispondenti alle armoniche superiori della frequenza fondamentale. Abbiamo notato che la posizione di tutte queste righe cambiava a seconda che il trasloelevatore viaggiasse vuoto o carico di prodotti, per poi verificare che i movimenti di vibrazione più fastidiosi, quelli che ci costringevano a bloccare per più tempo il trasloelevatore, nascevano proprio nel caso fortuito in cui la pulsazione (frequenza) ω_c della rampa di decelerazione del carrello 10 corrispondeva ad una delle righe in questione.

Segno che, in questi casi, in fase di frenatura del carrello 10 andavamo proprio ad eccitare uno dei modi di vibrazione della struttura.

La soluzione del problema che abbiamo trovato (e che vorremmo brevettare) è molto semplice: pilotare in fase di decelerazione (anche in fase di accelerazione, preferibilmente) il movimento del carrello 10 secondo una legge del tipo di quella rappresentata nella figura 2, evitando però che la pulsazione ω_c abbia un valore tale da coincidere con una delle frequenze di vibrazione della struttura del trasloelevatore.

Lo schema a blocchi della figura 3 rappresenta una pratica implementazione della soluzione che abbiamo trovato. Nello schema della figura 3, A non è nient'altro che l'accelerometro montato sulla culla 14 che già avevamo, con associato all'uscita di preferenza un filtro passa-basso 20 con funzione di soppressione del rumore. In pratica il complesso formato dall'accelerometro A e dal filtro passa-basso 20 (che tutto sommato è assimilabile ad un integratore) può essere visto come corrispondente ad un rilevatore di velocità 30. In effetti, le elaborazioni (che dopo andrò a descrivere) fatte all'uscita del filtro passa-basso 20 potrebbero essere anche fatte su un segnale di velocità. Ad esempio si potrebbe trattare di un segnale di velocità del carrello 10 lungo l'asse

x fornito da un sensore a ruota fonica o encoder (che non si vede nei disegni ma che è già presente nel trasloelevatore per funzioni di controllo del movimento). La soluzione che vado a descrivere si può quindi realizzare a partire da un qualunque segnale di movimento del carrello 10 lungo l'asse x. Il segnale di movimento proveniente dall'accelerometro A (e dal filtro/integratore 20) è inviato ad un modulo elaborativo 40 che realizza una trasformazione dal dominio temporale al dominio delle frequenze. Si tratta tipicamente di un modulo che realizza la trasformata di Fourier secondo le modalità correntemente denominate FFT (Fast Fourier Transform). A valle dell'FFT c'è un altro un modulo di elaborazione che analizza il segnale di trasformata per identificare le righe dello spettro, ossia quelle che identificano le frequenze proprie di vibrazione del trasloelevatore. In funzione di questa lettura, il modulo 50 agisce sull'unità di comando U in modo che la rampa di decelerazione del carrello 10 sia comandata utilizzando un valore di pulsazione ω_c diverso dai valori corrispondenti alle righe dello spettro generato dall'FFT.

I modi per ottenere questo risultato sono praticamente infiniti. La soluzione che noi attualmente implementiamo è quella di usare un valore ω_c di default, scelto sulla base di considerazioni di progetto del trasloelevatore. Il modulo 50 rileva (in tempo reale) il segnale d'uscita del modulo 40 e, se vede che uno dei valori di frequenza (pulsazione) dello spettro è vicino alla ω_c di default entro un certo intervallo di frequenze (che regoliamo in funzione del tipo e delle dimensioni del trasloelevatore), interviene sull'unità U modificando il valore di ω_c abbassandolo a $\omega_c \cdot \text{pigreco}/4$. Abbiamo visto che di solito è sufficiente identificare e fare il confronto solo con la frequenza di vibrazione più bassa, ossia la fondamentale. In ogni caso, la scelta di pigreco (ossia di un numero irrazionale) è vantaggiosa perché evita ogni eventuale problema relativo alle armoniche.

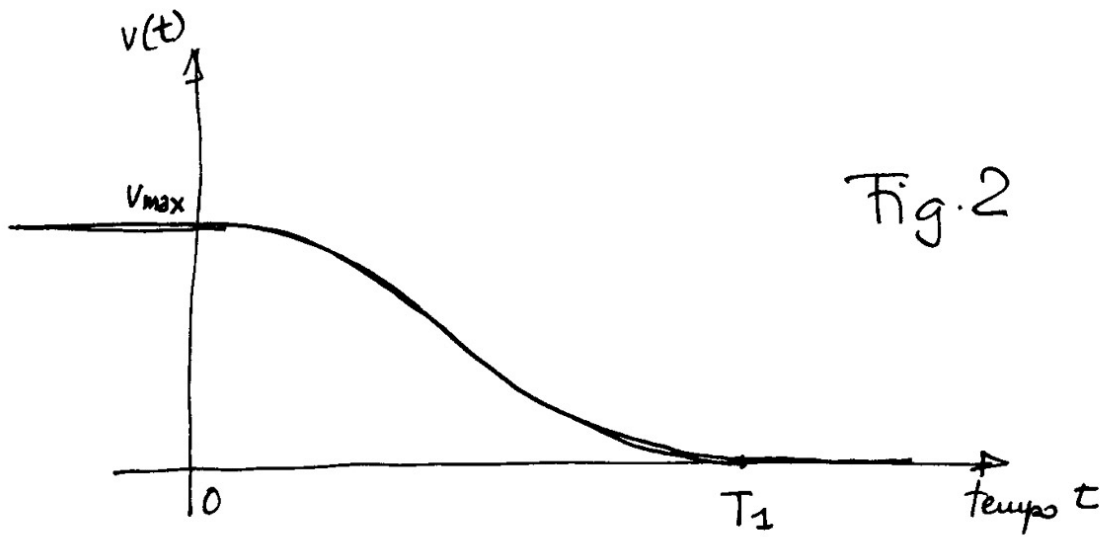
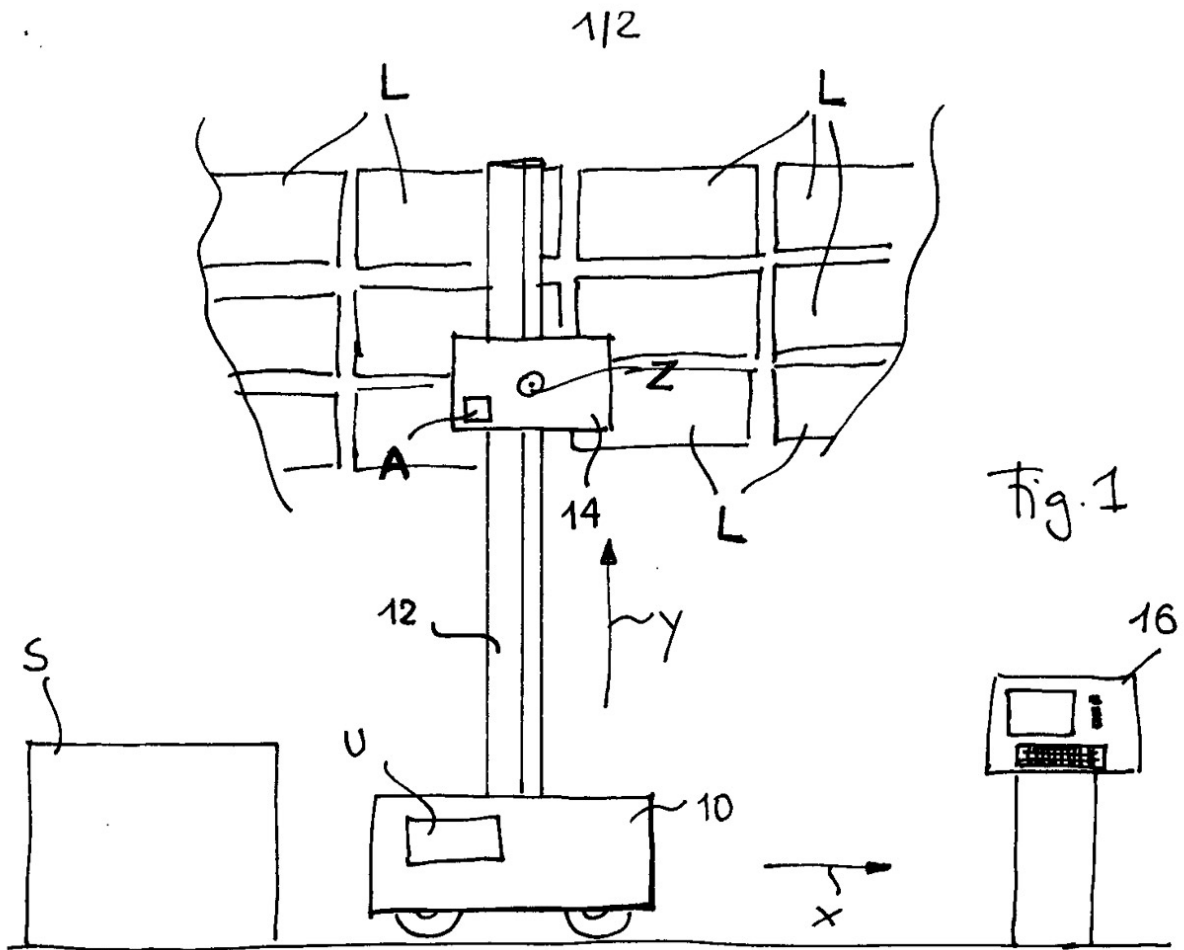


Fig. 3

