

# *Un carrello semovente per sistemi di trasporto sospesi a cavo*

Nel lavoro si analizza la costituzione di un nuovo carrello semovente in grado di ovviare ad alcuni inconvenienti manifestati dai carrelli "All-terrain". Le caratteristiche più salienti del carrello sono rappresentate dal dispositivo di traslazione e dal sistema di controllo. Il primo è costituito da quattro coppie di carrucole azionate da motori idraulici; l'aderenza delle carrucole sulla fune portante è assicurata dal materiale di rivestimento delle gole. Il sistema di controllo è di tipo elettronico e consente il governo di tutte le funzioni del carrello, sia in condizioni normali di funzionamento sia in condizione di emergenza.

Le prime prove cui è stato sottoposto il carrello hanno posto in evidenza:

- il sostanziale buon funzionamento del carrello in tutte le sue componenti (meccaniche, idrauliche ed elettroniche);
- l'assoluta sicurezza operativa garantita dalla gestione elettronica delle funzioni del carrello;
- le soddisfacenti prestazioni del carrello, pur nei limiti delle prove condotte.

I risultati fanno ritenere che il carrello sia in grado di contribuire al miglioramento delle condizioni operative nel settore dei sistemi di trasporto sospesi a cavo.

## **I. Premessa**

Nei sistemi di trasporto sospesi a cavo e funzionanti a gravità l'argano viene normalmente posizionato a monte e

il movimento di traslazione del carrello sulla fune portante avviene per azione della fune traente, verso monte, e per gravità, verso valle.

Per fare in modo che il gancio possa scendere dal carrello è necessario che la componente verticale della forza peso dovuta alla massa del gancio sia superiore alla componente verticale della tensione della fune traente, considerando anche l'eventuale attrito della fune traente sul terreno. Ciò impone nella pratica che la pendenza minima della linea sia pari o superiore al 20%.

La modalità di funzionamento per gravità rende inoltre molto spesso complesso il posizionamento dell'argano a valle. Infatti la difficoltà di discesa del gancio si accentua in considerazione della notevole lunghezza della fune traente, la quale da valle risale fino a monte e, mediante una carrucola, è rinviata al carrello.

Il superamento di questi inconvenienti può avvenire adottando i sistemi "All-terrain" i quali, come si può intuire dalla loro denominazione, possono funzionare sia su terreni declivi, con argano posizionato indifferentemente a monte o a valle, sia su terreni pianeggianti. Il movimento di traslazione del carrello è completamente svincolato dalla forza di gravità.

Le tipologie costruttive dei sistemi "All-terrain" risultano molto differenziate, in particolare per quanto concerne il carrello (BAUERNFRIED, 1976; FAO, 1981).

a) *Sistema "squirrel"*. Il carrello principale è seguito da un carrello ausiliario sul quale sono fissate la fune con il gan-

cio e le due estremità della fune traente, chiusa ad anello, un ramo della quale passa all'interno del carrello principale. Quando il carrello principale si blocca sulla fune portante il movimento del carrello ausiliario determina l'abbassamento o il sollevamento della fune con il gancio. Quando il carrello principale si sblocca dalla fune portante e si blocca sul ramo della fune traente che lo attraversa, l'azionamento di quest'ultima determina la traslazione dei due carrelli.

- b) *Sistema a fune traente motrice.* La fune traente, chiusa ad anello, passa all'interno del carrello su una carrucola collegata mediante una trasmissione meccanica a un rocchetto sul quale è avvolta la fune con il gancio. Quando il carrello si blocca sulla fune portante, il movimento della fune traente determina la rotazione del rocchetto e il contemporaneo abbassamento o sollevamento della fune con il gancio. Quando il carrello si sblocca dalla fune portante, si blocca la carrucola su cui passa la fune traente; di conseguenza l'azionamento della fune traente determina la traslazione del carrello.

In altre versioni la fune traente e una fune ausiliaria sono avvolte attorno a due rocchetti coassiali, fissati direttamente al rocchetto della fune con il gancio oppure collegati a esso mediante una trasmissione meccanica. In questo modo l'azionamento alternato della fune traente e della fune ausiliaria determina l'abbassamento o il sollevamento della fune con il gancio. Il movimento di traslazione del carrello sulla fune portante può ottenersi mediante la fune traente e la fune ausiliaria, azionate in modo concorde, e una fune di richiamo. In altri casi, quando la fune traente e quella ausiliaria sono contrapposte, la traslazione si ottiene per azionamento di queste due funi.

- c) *Sistema a fune ausiliaria motrice.* Il carrello dispone di un meccanismo che consente la discesa della fune traente con il gancio e che viene azionato da una fune ausiliaria. La traslazione del car-

rello sulla fune portante avviene a opera della sola fune traente oppure della fune traente e di una fune di richiamo in relazione alle condizioni operative.

- d) *Sistema ad azionamento motorizzato della discesa della fune traente.* Concettualmente molto simile al sistema precedente, il carrello è dotato in questo caso di un motore endotermico il quale aziona il meccanismo di discesa della fune traente, generalmente una carrucola con gola a profilo parabolico e con rulli di pressione per mantenere aderente la fune alla gola della carrucola.
- e) *Sistema ad azionamento motorizzato della fune con il gancio.* Sul carrello è installato un argano, azionato, tramite una trasmissione idraulica, da un motore endotermico, e che ha la funzione di abbassare e sollevare la fune con il gancio. Il carrello, a seconda delle condizioni operative, trasla sulla fune portante a opera della sola fune traente o della fune traente e di una fune di richiamo.
- f) *Sistema semovente ad azionamento motorizzato della fune con il gancio.* Come nel caso precedente l'abbassamento e il sollevamento della fune con il gancio avviene a opera di un argano, azionato, tramite una trasmissione idraulica, da un motore endotermico. La traslazione del carrello sulla fune portante può essere ottenuta mediante due sistemi: una carrucola motrice con gola a profilo parabolico attorno alla quale si avvolge la fune traente; due carrucole motrici, con gli assi complanari, sulle quali si avvolge una spira della fune portante. In entrambi i casi la rotazione delle carrucole motrici determina il movimento del carrello.

I sistemi "All-terrain" sono stati sviluppati per consentire la completa indipendenza di funzionamento dalla modalità di installazione. Essi però incontrano alcuni limiti alla loro diffusione. I sistemi "All-terrain" caratterizzati dall'uso di più funi richiedono una notevole complessità degli argani che devono equipaggiare le stazioni motrici. Come è facilmente intuibile gli argani devono es-

sere dotati di più tamburi, con la possibilità di movimento in senso opposto e sincronizzato, a velocità di rotazione proporzionale al grado di avvolgimento delle funi. Chiaramente a questa complessità strutturale corrispondono prezzi di acquisto e costi di esercizio notevoli, nonché la necessità di disporre di personale altamente qualificato sia per il montaggio che per il funzionamento degli impianti.

Nei sistemi "All-terrain" di tipo semovente la necessità di avvolgere la fune traente o, peggio ancora, la stessa fune portante su delle carrucole motrici determina una notevole sollecitazione di flessione che può comportare la rapida usura della fune.

Allo scopo di ottenere un sistema "All-terrain" capace di superare gli inconvenienti evidenziati per gli altri carrelli attualmente disponibili è stato progettato e realizzato un carrello semovente la cui capacità di autodislocamento è garantita dall'aderenza di una serie di pulegge motrici che rotolano sulla fune portante<sup>1</sup>.

## 2. Il carrello semovente per sistemi di trasporto sospesi a cavo

### 2.1. Caratteristiche generali

Il carrello semovente (fig. 1) si compone di un telaio sul quale sono alloggiati il motore endotermico, il sistema idraulico di azionamento delle carrucole motrici e del verricello di sollevamento, il sistema elettronico di controllo. Conglobati nella struttura del telaio vi sono i serbatoi del combustibile del motore endotermico e dell'olio dell'impianto idraulico. Il telaio viene sospeso alla fune portante e vi trasla per mezzo di quattro coppie di carrucole motrici. Il carrello è provvisto di un dispositivo elettronico di controllo delle diverse funzioni comandato da terra mediante un radiocomando.

Le dimensioni caratteristiche del carrello sono le seguenti:

lunghezza	m 2,90
larghezza	m 0,70
altezza	m 1,55
massa	kg 650 (con serbatoi vuoti)

### 2.2. Telaio

Per la costruzione del telaio si è tenuto conto dell'opportunità di limitare la massa del carrello per evitare l'impiego di funi portanti di diametro elevato e quindi costose e per non ridurre il carico massimo trasportabile. A tal fine si è utilizzato come materiale di costruzione una lega di alluminio, commercialmente denominata ac 100. Inoltre si è posta particolare attenzione al dimensionamento della struttura, cercando di ottenere il migliore compromesso tra l'esigenza di collocazione dei vari organi operatori e quella di realizzare un dispositivo facilmente trasportabile e installabile sulla linea.

Il telaio è stato quindi costruito impiegando due travi, a sezione rettangolare, posizionate a V e saldate nella parte inferiore a una piastra convessa che funge da supporto al motore endotermico, all'impianto idraulico, al verricello e ai dispositivi elettronici di monitoraggio e di controllo delle diverse funzioni. Le travi vengono utilizzate anche come serbatoi della miscela, per l'alimentazione del motore endotermico e dell'olio del-



Fig. 1 - Vista d'insieme del carrello semovente (la carrucola di colore scuro non carenata, di tipo folle viene installata solo durante le prove per la determinazione dello slittamento delle carrucole motrici).

<sup>1</sup> La realizzazione del carrello semovente è avvenuta con il contributo del CO.NA.M.A. Sub progetto 48.

l'impianto idraulico. La capacità del serbatoio della miscela è di 45 l, mentre la capacità del serbatoio dell'olio è di 30 l.

### 2.3. Sistema di propulsione e di azionamento del verricello di sollevamento

Il sistema idraulico viene azionato da un motore endotermico ROTAX 635 a due tempi con alimentazione a miscela, bicilindrico con cilindrata totale di 635 cm<sup>3</sup>, raffreddato ad aria, con potenza massima di 28,3 kW (fig. 2). La scelta di questo tipo di motore è stata dettata sulla base di precedenti esperienze maturate nel settore dell'utilizzo delle gru a cavo con carrello dotato di motore autonomo per l'azionamento del verricello. In queste esperienze si era posto in evidenza il problema sia di una regolare alimentazione di combustibile sia di una costante lubrificazione dei motori collocati su carrelli che operavano in condizioni di notevole inclinazione longitudinale e, soprattutto, trasversale. È questa una condizione operativa che tende a verificarsi con una certa frequenza quando si pratica il concentrazione del materiale legnoso al di sotto della linea, iniziando a notevole distanza dalla linea stessa e quindi facendo assumere al carrello ampi angoli di inclinazione rispetto alla verticale.

Il motore endotermico è collegato mediante una frizione centrifuga e un

riduttore a una pompa a pistoni assiali a cilindrata variabile da 0 a 50 cm<sup>3</sup> con comando di tipo elettromeccanico. L'interposizione della frizione centrifuga nel collegamento motore endotermico-pompa a pistoni assiali facilita l'avviamento del motore in condizioni climatiche che inducono un aumento della densità dell'olio dell'impianto idraulico. La pompa, tramite una valvola ripartitrice, può azionare il circuito idrostatico del sistema di sollevamento del verricello o quello di traslazione del carrello. L'impianto idraulico si completa di uno scambiatore di calore con elettroventilatore a inserimento automatico.

Il verricello di sollevamento (fig. 3) è stato realizzato in modo da tenere separate la funzione di sollevamento vero e proprio da quella di immagazzinamento della fune. Questa soluzione è stata adottata per mantenere costante la forza di sollevamento che, come è noto, è funzione del diametro di avvolgimento della fune sul tamburo del verricello, e per evitare di schiacciare la fune già avvolta con le spire in tensione a causa del carico applicato. Inoltre è possibile evitare l'insorgenza di eventuali intoppi durante l'avvolgimento o lo svolgimento della fune che richiederebbero l'abbassamento della fune portante per porvi rimedio.

Il verricello è quindi composto da un tamburo a profilo parabolico, sul quale sono avvolte solo poche spire di fune,

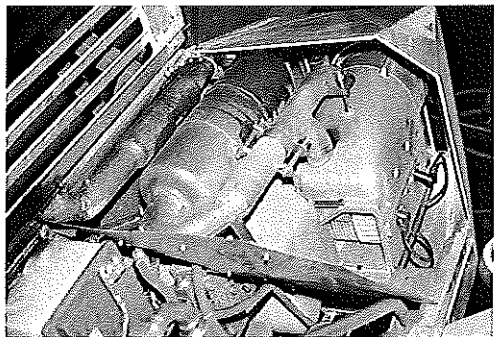


Fig. 2 - Particolare del motore endotermico ROTAX 635 a due tempi con alimentazione a miscela, bicilindrico con cilindrata di 635 cm<sup>3</sup>, raffreddato ad aria, con potenza massima di 28,3 kW.

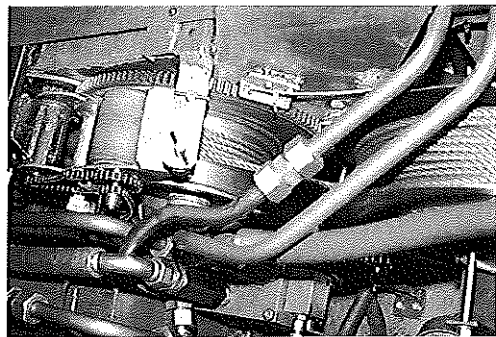


Fig. 3 - Vista superiore del verricello di sollevamento: in evidenza il tamburo a profilo parabolico, sul quale sono avvolte 5 spire di fune, e il rocchetto di immagazzinamento della fune.

generalmente cinque, e da un rocchetto, nel quale viene immagazzinata la fune dopo il passaggio nel tamburo. Il tamburo è azionato, tramite una trasmissione meccanica a pignone e corona, da un motore idraulico a pistoni assiali con cilindrata di  $63 \text{ cm}^3$ , mentre il rocchetto è azionato tramite una trasmissione meccanica a catena. Le spire avvolte sul tamburo vengono mantenute compresse durante l'avvolgimento e lo svolgimento della fune da un dispositivo meccanico a rulli che garantisce un'aderenza sufficiente tra la fune e la superficie del tamburo per produrre la necessaria forza di sollevamento.

La fune impiegata ha diametro di 10 mm.

Sul pignone della trasmissione dal motore a pistoni assiali al tamburo è installato un freno negativo a disco, collegato tramite una elettrovalvola a un accumulatore idraulico alimentato dal circuito a bassa pressione dell'impianto idraulico.

La forza massima di sollevamento del verricello è pari a 1800 kg e la velocità massima di avvolgimento a tamburo vuoto è di 3 m/s.

La traslazione del carrello sulla fune portante è assicurata da quattro coppie di carrucole azionate da motori idraulici a pistoni assiali con cilindrata di  $32 \text{ cm}^3$ . La trasmissione del movimento da ogni motore idraulico a ciascuna coppia di carrucole avviene per mezzo di un ingranaggio centrale in acciaio, solidale con l'asse del motore, e due ingranaggi in akulon, solidali rispettivamente con l'asse di ciascuna delle carrucole. Ogni coppia di carrucole è montata su un supporto oscillante e ogni coppia di supporti oscillanti è installata a sua volta su un supporto a mezzaluna. Ciascun supporto a mezzaluna è articolato su una delle travi che costituiscono il telaio del carrello. Questa soluzione costruttiva è stata dettata dall'esigenza di assicurare il continuo contatto delle carrucole con la fune portante, anche durante i passaggi sulle staffe dei cavalletti di supporto nei quali si verifica sempre una repentina variazione di inclinazione della fune. Questa soluzione è stata inoltre prevista

per distribuire in modo uniforme la massa del carrello e del carico trasportato sulla fune portante.

Per quanto riguarda le carrucole si è fatto ricorso a una tecnica costruttiva utilizzata negli impianti a fune per il trasporto di persone: ogni carrucola presenta la gola rivestita da gomma ad alta aderenza in grado di assicurare il necessario attrito con la fune portante e permettere così la traslazione del carrello (fig. 4). La carrucola può essere facilmente smontata e il rivestimento della gola sostituito in modo da consentire una facile manutenzione in caso di usura del materiale.

La velocità massima di traslazione in orizzontale è pari a 4 m/s.

Per il bloccaggio sulla fune portante, il carrello è dotato sulla estremità distale del supporto di una delle due coppie esterne di carrucole di un freno negativo a pinza, collegato tramite una elettro-

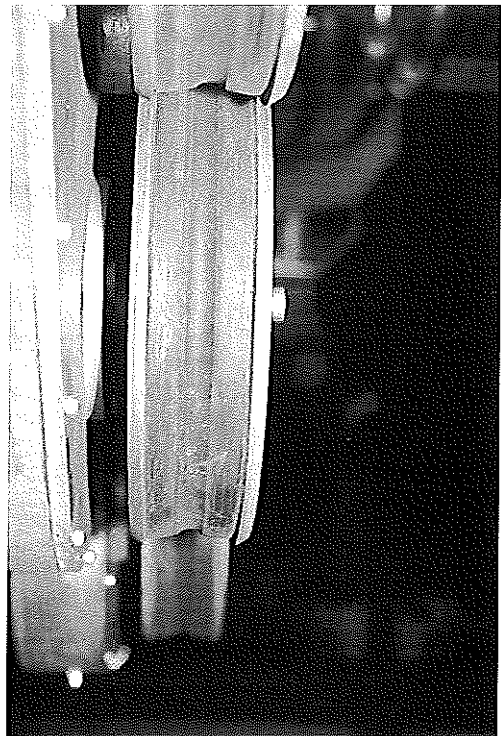


Fig. 4 - Particolare di una carrucola con gola rivestita in gomma ad alta aderenza.

valvola a un accumulatore idraulico alimentato dal circuito a bassa pressione dell'impianto idraulico. Va da sé che si è ritenuto sufficiente questo sistema di bloccaggio del carrello, piuttosto semplice se paragonato a quelli in uso sui carrelli convenzionali e realizzati con delle ganasce autobloccanti. Infatti, mancando la fune traente, il carrello semovente non subisce alcuna sollecitazione a risalire lungo la fune portante, così come accade invece nei carrelli convenzionali per azione della risultante tra la forza imposta dalla massa del carico e la forza di trazione della fune traente.

Sulle estremità distali dei supporti di entrambe le coppie esterne di carrucole sono inoltre presenti due interruttori elettromeccanici attivabili da blocchi di linea installabili sulla fune portante. L'azionamento degli interruttori determina l'immediato spegnimento del motore endotermico e il repentino arresto del carrello. Posizionando opportunamente i blocchi di linea è possibile stabilire due punti, uno a monte e uno a valle, invalicabili dal carrello in caso di perdita di controllo da parte degli operatori a terra.

Il carrello può essere impiegato su funi portanti con diametro variabile da 20 a 32 mm.

#### 2.4. Sistema elettronico di controllo

Tutte le funzioni del carrello vengono controllate da un sistema elettronico basato su due unità: un radiocomando, azionato dall'operatore a terra, e un computer montato sul carrello collegato a una unità radoricevente. Il radiocomando, alimentato mediante una batteria ricaricabile, è dotato di una leva a cloche che comanda la marcia avanti e indietro del carrello e il sollevamento e abbassamento della fune del verricello. Sia la marcia del carrello che il funzionamento del verricello possono avvenire con tre gamme di velocità, selezionabili mediante spostamenti progressivi della leva a cloche.

Mediante due pulsanti è possibile abilitare e disabilitare la memorizzazione

della gamma di velocità di avanzamento del carrello selezionata dall'operatore. Con la memorizzazione abilitata, il carrello può continuare a traslare anche quando, per particolari condizioni della morfologia del terreno, si interrompe il collegamento radio. È questa una situazione che si può verificare quando il punto di carico del legname è molto distante da quello di scarico. In tale situazione l'operatore al carico, una volta terminato il sollevamento del legname, può far partire il carrello memorizzando la velocità di avanzamento selezionata. Quando il carrello entra nel campo visivo dell'operatore allo scarico, quest'ultimo disattiva la memorizzazione e riprende il controllo manuale del carrello stesso.

Nel caso di memorizzazione disabilitata, l'interruzione del collegamento radio attiva l'arresto del carrello

Il radiocomando è inoltre fornito di un pulsante di emergenza per l'arresto immediato di tutte le funzioni del carrello stesso.

L'interpretazione dei comandi provenienti dall'unità radoricevente vengono inviati, mediante una interfaccia a relè, al computer che provvede, tramite un opportuno software, a comandare i vari attuatori.

Il computer impiegato è del tipo SIEMENS S5 95U e la sua alimentazione è garantita da una batteria al piombo ricaricata dall'alternatore del motore endotermico.

Dato che non esiste alcun collegamento meccanico tra l'operatore e il carrello stesso si è posta particolare attenzione alla sicurezza del sistema, realizzando un circuito elettromeccanico separato da quello elettronico che tiene in considerazione i seguenti parametri:

- radiocomando attivo e funzionante;
- pulsante di emergenza del radiocomando non azionato;
- interruttore elettromeccanico di monte non azionato;
- interruttore elettromeccanico di valle non azionato.

Questo circuito è strutturato in modo che al verificarsi di una qualsiasi interruzione della catena elettrica è in grado di arrestare tutti i dispositivi del carrello,

compreso il motore endotermico. È inoltre presente un opportuno circuito che impedisce di azionare l'avviamento del motore endotermico nel caso questo sia già in moto.

Le informazioni di input e di output gestite dal computer sono riassunte nella tabella I.

Il computer è in grado di far variare la cilindrata della pompa del sistema idraulico in relazione al regime di rotazione del motore endotermico; in particolare, quando il motore endotermico tende a ridurre il regime di rotazione (carrello in movimento di salita o fase di sollevamento del verricello) si riduce la cilindrata della pompa, modificando così la velocità e quindi la coppia motrice dei motori idraulici installati sulle carrucole motrici o sul verricello; quando, invece, il motore tende ad aumentare il regime di rotazione (carrello in movimento di discesa o fase di abbassamento del verricello) si riduce la cilindrata della pompa in modo da sfruttare

l'effetto frenante del circuito idraulico.

Il computer consente la programmazione del tempo di variazione della cilindrata della pompa sia nel funzionamento ordinario che in quello di emergenza. In questo modo è possibile modificare l'accelerazione e la decelerazione della velocità di avanzamento e di quella di discesa e di salita della fune del verricello.

Una seconda funzione del computer è quella di gestione del sollevamento-abbassamento del verricello: per evitare che l'operatore comandi un sollevamento troppo veloce tale che il gancio con il carico vada a colpire il carrello, il computer registra la quantità di fune rilasciata dal verricello durante la discesa del gancio; durante il sollevamento il computer attiva una fase di avvicinamento del gancio al carrello, riducendo, mediante il controllo della cilindrata della pompa del sistema idraulico, la velocità di sollevamento, fino a bloccare il gancio nella posizione di fine corsa.

Input	Output
Salita verricello	Elettrovalvola motore verricello
Discesa verricello	Elettromagnete accelerazione motore endotermico
Traslazione carrello verso monte	Disabilitazione emergenza in caso di mancanza di portante radio
Traslazione carrello verso valle	Disabilitazione dell'elettrovalvola del freno del carrello
2ª marcia	Disabilitazione dell'elettrovalvola del freno del verricello
3ª marcia	Segnale acustico
Portante radio in funzione	Disabilitazione dell'avviamento del motore endotermico
Arresto motore endotermico	Basso regime di rotazione
Inserimento memorizzazione velocità di avanzamento	Alto regime di rotazione
Disinserimento memorizzazione velocità di avanzamento	Regolazione della direzione e della velocità di traslazione del carrello
Fine-corsa salita verricello	Regolazione della direzione e della velocità di sollevamento del verricello
Emergenza intervenuta	
Contagiri tamburo verricello	
Contagiri motore endotermico	

Tab. I - Informazioni di input e di output gestite dal computer.

### 3. L'attività sperimentale

Le azioni prodotte nel corso dell'attività sperimentale condotta hanno considerato il completamento dell'ingegnerizzazione del carrello e la sua sperimentazione.

#### 3.1. L'ingegnerizzazione del carrello

Per quanto concerne la prima azione si sono eseguite delle prove statiche per una prima taratura dei componenti secondo un protocollo operativo in grado di soddisfare le esigenze sia di funzionalità sia di sicurezza. La verifica del funzionamento del carrello è proseguita su un'apposita linea installata in bosco. Dopo la fase di rodaggio, il carrello è stato impiegato in differenti condizioni di funzionamento, procedendo alle necessarie regolazioni e tarature, conformemente alle prestazioni fornite.

Un intervento particolarmente significativo ha riguardato il controllo della variazione di cilindrata della pompa dell'impianto idraulico. Si è notato infatti che i tempi di risposta della variazione di cilindrata della pompa necessaria per ottenere una corrispondente variazione della coppia motrice dei motori idraulici e mantenere così costante il regime di rotazione del motore endotermico erano troppo rapidi. In questo modo si verificava una sorta di rapida oscillazione del regime di rotazione del motore endotermico, particolarmente sensibile quando veniva richiesto un aumento della coppia motrice.

Si era inoltre osservato che le variazioni di velocità venivano effettuate con accelerazioni troppo rapide che frequentemente non consentivano all'operatore un adeguato controllo delle fasi di avvio del carrello.

Mediante una corretta impostazione dei valori nel software di gestione del computer si è potuto ovviare a entrambi gli inconvenienti.

È stata evidenziata la necessità che, nello sviluppo futuro dell'attrezzatura, si realizzi il computer in un monoblocco estraibile in quanto si è valutato che in

determinate situazioni ci si potrebbe vedere costretti a parcheggiare il carrello sulla fune portante anche per lunghi periodi, come può accadere nel caso di improvvise nevicate a fine stagione che impediscono il recupero dell'attrezzatura. Inoltre la facile asportabilità del computer può consentire di salvaguardarne l'integrità in caso di temporali, nel corso dei quali non è improbabile lo scaricarsi di fulmini sulla fune portante.

Una ulteriore considerazione è stata fatta per quanto riguarda il sistema di frenatura del carrello sulla fune portante. Il carrello semovente, al contrario di quelli attualmente impiegati sulle teleferiche e sulle gru a cavo che vengono bloccati per mezzo di apposite ganasce autobloccanti, realizza la frenatura sulla fune portante tramite il freno negativo a pinza e l'aderenza delle carrucole con i motori idraulici in condizione di arresto. Il materiale del freno deve quindi garantire un adeguato attrito e una buona durata, senza provocare eccessive usure ai trefoli della fune. Si ritiene che sarà opportuno installare sulle ganasce del freno delle placchette di attrito in bronzo, materiale capace di soddisfare i requisiti funzionali del sistema.

#### 3.2. La sperimentazione

Obiettivo della sperimentazione è stato il rilevamento dello slittamento delle carrucole motrici in differenti condizioni di pendenza e di carico e con marce di avanzamento diverse.

Trattandosi di un prototipo di pre-serie, si è sempre operato con il carrello su una linea appositamente predisposta, evitando di sovrapporsi ai lavori delle imprese boschive. Va comunque sottolineato che la linea è stata tracciata all'interno di un lotto utilizzato e quindi in condizioni operative reali.

Preliminarmente a ogni prova si è rilevata la catenaria della fune portante. A tale scopo si è impiegato un teodolite informatico Wild TC 2002 a raggi infrarossi. Sulla carenatura della carrucola a monte del carrello è stato collocato un riflettore a prismi. Il teodolite è stato



collocato in prossimità dell'ancoraggio e in modo che l'asse di rotazione orizzontale del cannocchiale fosse posizionato a una distanza, rispetto al piano verticale passante per la fune portante, uguale a quella del centro del riflettore. In questo modo, spostando il carrello lungo la fune portante, è stato possibile misurare il dislivello e la distanza topografica di ogni punto della fune portante e, di conseguenza, determinarne la catenaria.

La linea era a due campate ed è stata montata impiegando una fune Warrington Seale a 114 fili, con diametro di 26

mm, sostenuta nella parte mediana da una staffa sospesa mediante un cavalletto ad aeroplano. La tensionatura della fune portante veniva ottenuta per mezzo di taglie e un tensionatore Tirfor.

Le prove sono state condotte sulla prima campata che presentava una corda geometrica della lunghezza di 97 m, un dislivello tra il punto di ancoraggio e la staffa di 22 m e una freccia scarica (con il solo carrello) di 3,2 m.

Per la misurazione degli elementi necessari per il calcolo dello slittamento si è provveduto a equipaggiare il carrello

Pendenza (%)	Carico (t)	Marcia	Senso di avanzamento	Slittamento <sup>1</sup> (%)	Velocità (m/s)
20	vuoto	1 <sup>a</sup>	discesa	-2,29	0,83
20	vuoto	1 <sup>a</sup>	salita	3,22	0,52
variazione di carico a parità di marcia (1 <sup>a</sup> ) e di pendenza					
23	0,83	1 <sup>a</sup>	discesa	-2,54	0,83
23	0,83	1 <sup>a</sup>	salita	3,72	0,45
24	1,61	1 <sup>a</sup>	discesa	-3,13	0,80
24	1,61	1 <sup>a</sup>	salita	3,94	0,27
variazione di carico a parità di marcia (2 <sup>a</sup> ) e di pendenza					
23	0,78	2 <sup>a</sup>	discesa	-3,21	1,48
23	0,78	2 <sup>a</sup>	salita	3,89	1,09
24	1,61	2 <sup>a</sup>	discesa	-3,72	1,52
24	1,61	2 <sup>a</sup>	salita	4,08	0,95
variazione di marcia a parità di carico e di pendenza					
23	0,83	1 <sup>a</sup>	discesa	-2,54	0,83
23	0,83	1 <sup>a</sup>	salita	3,72	0,45
23	0,78	2 <sup>a</sup>	discesa	-3,21	1,48
23	0,78	2 <sup>a</sup>	salita	3,89	1,09
variazione di pendenza a parità di marcia e di carico					
20	0,78	2 <sup>a</sup>	discesa	-2,79	1,48
20	0,78	2 <sup>a</sup>	salita	3,52	1,04
23	0,78	2 <sup>a</sup>	discesa	-3,21	1,48
23	0,78	2 <sup>a</sup>	salita	3,89	1,09

<sup>1</sup> I valori negativi esprimono il pattinamento della carrucola motrice.

con una carrucola folle, collegata per mezzo di braccio caricato da una molla per garantire l'aderenza della carrucola stessa sulla fune portante (fig. 1). La carrucola folle presentava un diametro interno alla gola uguale a quello delle carrucole motrici del carrello.

Sia la carrucola folle che una carrucola motrice sono state equipaggiate con un encoder magnetico per la rilevazione del numero di giri. Gli encoder sono stati collegati, via cavo, con uno strumento in grado di fornire il numero di giri di ciascuna carrucola in un intervallo di tempo programmabile.

Per il calcolo dello slittamento si è adottata la formula seguente:

$$(n - n_1)/n * 100$$

dove

$n$  =  $n^\circ$  giri della carrucola motrice

$n_1$  =  $n^\circ$  giri della carrucola folle

Le tesi a confronto sono state le seguenti:

- variazione di carico a parità di marcia (1<sup>a</sup> marcia) e di pendenza;
- variazione di carico a parità di marcia (2<sup>a</sup> marcia) e di pendenza;
- variazione di marcia a parità di carico e di pendenza;
- variazione di pendenza a parità di marcia e di carico.

Ogni tesi è stata ripetuta procedendo sia in salita sia in discesa.

I risultati della sperimentazione vengono sintetizzati nella tabella 2.

L'elaborazione statistica mediante test ANOVA dei dati ha fornito i risultati riportati nelle tabelle 3, 4 e 5.

Per quanto riguarda le tesi relative alla variazione di carico a parità di marcia (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> marcia) e di pendenza (tab. 3) si osserva un diverso comportamento del carrello in relazione alla marcia impiegata. Infatti, con la 1<sup>a</sup> marcia sia il carico che il senso di avanzamento influenzano in modo significativo lo slittamento e la velocità di avanzamento. Su questi due fattori, inoltre, il carico trasportato agisce in modo significativamente diverso a seconda del senso di avanzamento. Nel caso della 2<sup>a</sup> marcia il carico non ha alcuna influenza sullo slittamento e sulla velocità di avanza-

mento, che variano, invece, significativamente in funzione del senso di avanzamento. Solo nel caso dello slittamento si ha una significativa interazione tra carico trasportato e senso di avanzamento.

Per tentare di dare una spiegazione a quanto osservato si deve considerare che il livello di significatività delle differenze delle medie calcolate per la 1<sup>a</sup> marcia non è molto elevato e perciò può essere imputato alla variabilità dell'esperimento; si

1<sup>a</sup> marcia  
slittamento (%)

	Senso di avanzamento			media
	salita	discesa		
Carico (t)	0,83	3,72	-2,54	0,59 Aa
	1,61	3,94	-3,13	0,40 Ba
	media	3,83 a	-2,84 b	

A, B:  $P < 0,05$

a, b:  $P < 0,01$

1<sup>a</sup> marcia  
velocità (m/s)

	Senso di avanzamento			media
	salita	discesa		
Carico (t)	0,78	0,45	0,83	0,63 a
	1,61	0,27	0,80	0,53 b
	media	0,36 a	0,81 b	

A, B:  $P < 0,05$

a, b:  $P < 0,01$

2<sup>a</sup> marcia  
slittamento (%)

	Senso di avanzamento			media
	salita	discesa		
Carico (t)	0,83	3,89	-3,21	0,34 A
	1,61	4,08	-3,72	0,18 A
	media	3,98 a	-3,46 b	

A, B:  $P < 0,05$

a, b:  $P < 0,01$

2<sup>a</sup> marcia  
velocità (m/s)

	Senso di avanzamento			media
	salita	discesa		
Carico (t)	0,83	1,09	1,48	1,28 A
	1,61	0,95	1,52	1,23 A
	media	1,5 a	1,01 b	

A, B:  $P < 0,05$

a, b:  $P < 0,01$

Tab. 3 - Risultati dell'elaborazione statistica dei dati relativi alla variazione di carico a parità di marcia e di pendenza.

slittamento (%)

		Senso di avanzamento		
		salita	discesa	media
Marcia	1 <sup>a</sup>	3,72	-2,54	0,59 a
	2 <sup>a</sup>	3,89	-3,21	0,32 b
	media	3,79 a	-2,88 b	

A, B: P<0,05  
a, b: P<0,01

velocità (m/s)

		Senso di avanzamento		
		salita	discesa	media
Marcia	1 <sup>a</sup>	0,45	0,83	0,63 a
	2 <sup>a</sup>	1,09	1,48	1,28 b
	media	0,76 a	1,15 b	

A, B: P<0,05  
a, b: P<0,01

Tab. 4 - Risultati dell'elaborazione statistica dei dati relativi alla variazione di marcia a parità di carico e di pendenza.

può supporre quindi che anche per questa marcia il carico non determini effetto alcuno sullo slittamento, procedendo sia in salita sia in discesa. In effetti aumentando il carico, aumenta sì la componente della forza peso parallela alla fune portante, ma aumenta anche la componente verticale che, appesantendo dinamicamente il carrello, contribuisce a elevare l'aderenza delle carrucole sulla fune portante. In questo modo viene contrastata la tendenza all'aumento dello slittamento o del pattinamento determinata dall'incremento della componente della forza peso parallela alla fune portante.

Relativamente alla tesi riguardante la variazione di marcia a parità di carico e di pendenza (tab. 4), sia la marcia che il senso di avanzamento influenzano in modo significativo lo slittamento e la velocità di avanzamento. Per quanto concerne l'interazione, questa risulta significativa solo nel caso dello slittamento; in altri termini lo slittamento del carrello tende a variare in modo differente, a seconda della marcia considerata, al variare del senso di avanzamento.

La considerazione principale che può essere ricavata dai dati di questa tesi è che il carrello tende a comportarsi come ogni altra macchina semovente azionata,

slittamento (%)

		Senso di avanzamento		
		salita	discesa	media
Pendenza (%)	20	3,52	-2,79	0,36 A
	23	3,89	-3,21	0,34 A
	media	3,7 a	-3 b	

A, B: P<0,05  
a, b: P<0,01

velocità (m/s)

		Senso di avanzamento		
		salita	discesa	media
Pendenza (%)	20	1,04	1,48	1,28 A
	23	1,09	1,48	1,26 A
	media	1,06 a	1,48 b	

A, B: P<0,05  
a, b: P<0,01

Tab. 5 - Risultati dell'elaborazione statistica dei dati relativi alla variazione di pendenza a parità di carico e di marcia.

a parità di sforzo di trazione applicato, a velocità di avanzamento differenti: all'aumentare della velocità di avanzamento aumenta anche lo slittamento degli organi di propulsione.

Per quanto concerne la tesi sulla variazione di pendenza a parità di marcia e di carico (tab. 5), si sottolinea che la variazione di pendenza che si è potuta realizzare è molto limitata, ma essa ha rappresentato il massimo ottenibile nell'ambito della linea impiegata. Con questa premessa è dunque comprensibile come la pendenza non influenzi né lo slittamento né la velocità di avanzamento. Ancora una volta il fattore più importante risulta il senso di avanzamento che influenza in modo significativo sia lo slittamento che la velocità di avanzamento. Per quanto concerne l'interazione tra pendenza e senso di avanzamento, questa risulta significativa solo nel caso dello slittamento.

In sintesi si può concludere che, per i valori di pendenza della linea utilizzata e che comunque possono rappresentare dei valori medi ottenibili con particolari accorgimenti di installazione (appendice A), lo slittamento delle carrucole motrici non è influenzato dall'entità del carico trasportato.

Solo la variazione di velocità di avanzamento è in grado di modificare, pure se entro limiti molto contenuti, lo slittamento.

In tutte le condizioni lo slittamento è influenzato dal senso di avanzamento, assumendo i connotati di vero slittamento (valori positivi) in salita e di patinamento (valori negativi) in discesa.

#### 4. Considerazioni conclusive

Benché la sperimentazione condotta sia stata finalizzata esclusivamente alla verifica tecnica del carrello e di alcune sue prestazioni, è possibile comunque tentare di trarre anche alcune considerazioni connesse alla funzionalità del sistema.

Nella tabella 6 vengono proposti alcuni elementi sui quali basare il confronto tra l'impianto con il carrello semovente e gli impianti convenzionali, in particolar modo quelli a stazione motrice semifissa, strutturalmente più simili.

Per quanto concerne il numero di addetti, pur nella variabilità imposta da una serie di fattori quali: la lunghezza della linea, le dimensioni del materiale da esboscare, la distanza del materiale dalla linea di esbosco, la direzione di avvicinamento al materiale da parte degli addetti all'aggancio del carico, lo spazio disponibile nell'area di scarico, è evidente comunque che con il carrello semovente non è più necessario l'organista,

che normalmente è un addetto qualificato. Ciò comporta quindi un risparmio economico quantificabile in circa 200.000 lire al giorno.

Relativamente alle attrezzature, nell'impianto con il carrello semovente non viene utilizzato l'argano, che presenta un prezzo di acquisto oscillante tra 40 e 60 milioni di lire. Inoltre il carrello semovente sostituisce quello convenzionale, il cui prezzo di acquisto, riferito al tipo automatico, è di circa 25 milioni di lire. Sulla base delle prime stime, che valutano il prezzo del carrello semovente pari a circa 80 milioni di lire, si può perciò affermare che si ha una situazione di sostanziale indifferenza economica nel confronto tra principali mezzi impiegati nei due impianti.

Con il carrello semovente si impiega una fune traente, più propriamente definibile fune di sollevamento, che ha una lunghezza decisamente più ridotta rispetto a quella necessaria in un impianto convenzionale e che, di conseguenza, presenta un costo inferiore. Tale fatto può rendere conveniente l'uso delle funi speciali forestali, più leggere a parità di forza di trazione sopportabile.

Infine, nell'impianto con il carrello semovente, il dispositivo di collegamento fonico tra gli addetti può essere il più semplificato possibile, in quanto viene impiegato solo durante il montaggio e in caso di emergenza, dato che gli addetti possono comandare indipendentemente il carrello quando questo entra nel proprio campo visivo.

	Impianto convenzionale	Impianto con carrello semovente
<b>Personale e funzioni</b>		
azionamento dell'argano	1 unità	-
aggancio del carico	1-2 unità	1-2 unità
sgancio del carico	1-2 unità	1-2 unità
<b>Mezzi e attrezzature</b>		
argano	si	no
carrello	si	si, più complesso
fune traente	si	si, ma di lunghezza inferiore
dispositivo di collegamento fonico tra gli addetti	si	si, meno complesso

Tab. 6 - Elementi di confronto tra un impianto convenzionale e l'impianto basato sull'utilizzo del carrello semovente.

Per quanto concerne alcuni costi di utilizzazione è verosimile che l'impianto con il carrello semovente faccia registrare la necessità di una minore manutenzione rispetto all'impianto convenzionale. Infatti la riduzione delle fune traente a semplice fune di sollevamento, che si distende solo tra il carrello e il carico, evita che questa si usuri rapidamente per sfregamento sul terreno, come accade invece nell'impianto convenzionale. Inoltre la sua sostituzione è meno onerosa trattandosi di una fune di lunghezza limitata.

Va comunque tenuto conto che la maggiore complessità tecnologica del carrello semovente, in particolare per quanto concerne gli apparati elettronici, richiede, in caso di avarie, interventi di assistenza specialistica.

Dall'analisi condotta emergono validi presupposti per una efficace introduzione del carrello semovente nella realtà forestale italiana. Ciò risulta in sintonia con il processo evolutivo in atto nel settore della meccanizzazione, ormai particolarmente evidente nei paesi alpini confinanti, ma che, pur se lentamente, si sta realizzando anche in Italia.

**Prof. Raffaele Cavalli**

Università di Padova, Agripolis  
Dipartimento Territorio e Sistemi Agro Forestali  
35020 Legnaro (PD)

**Dott. Ruggero Bolognani**

Magnifica Comunità di Fiemme  
Ufficio Tecnico Forestale  
38033 Cavalese (TN)

## SUMMARY

### **A self-propelled carriage for cable transportation systems**

The construction of a self-propelled carriage designed to overcome some limitations of the "All-terrain" carriages is analysed

The main features of the carriage are the propelling device and the control system. The first one is made by four couples of pulleys powered by hydraulic motors; the adherence of the pulleys on the mainline is due to the rubber material lining the race. The electronic control system, based on a radio-controlled computer mounted on the carriage, allows to handle all the operations of the carriage, both in normal operational conditions and in emergency ones.

The first field tests carried out with the carriage show:

- the good operation of all the components (mechanical, hydraulic, electronic) of the carriage;
- the operational safety allowed by the electronic control of the functions of the carriage;
- the satisfying performances of the carriage, tested under the specific conditions of the trials.

The results show that the self-propelled carriage will be able to improve the operational conditions in the field of cable transportation systems.

## BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

BAUERNFRIED P.W., 1976 - *Handbook for cable crane logging*. Project Working Document No. 12. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO, 1981 - *Cable logging systems*. FAO Forestry Papers No. 24. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FERNSEBNER N., 1992 - *Laufwagen für seilkrananlagen*. In: *Proceedings 2. Internationaler Workshop Seilbringungim Gebirge*, ed. K. Stampfer, 44-72. Wien: BOKU Institut für Forsttechnik.

STUDIER D., 1993 - *Carriages for skylines*. Research Contribution 3. Corvallis: Forest Research Laboratory, Oregon State University.

## APPENDICE A

Al fine di mantenere la linea della fune portante entro valori medi di pendenza compatibili con la capacità di autodislocamento del carrello semovente si può procedere al tracciamento della linea stessa trasversalmente alla pendenza del terreno.

Per calcolare l'angolo acuto compreso tra la linea della fune portante e una retta perpendicolare alla linea di massima pendenza<sup>2</sup> si è proceduto all'elaborazione della seguente formula trigonometrica:

$$\sin \delta = \text{tg} \beta / \text{tg} \alpha$$

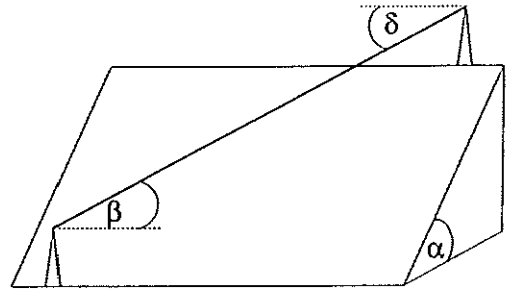
dove:

$\delta$  = angolo compreso tra la linea della fune portante e una retta perpendicolare alla linea di massima pendenza

$\text{tg} \beta$  = pendenza media della linea della fune portante rispetto al piano orizzontale

$\text{tg} \alpha$  = pendenza del terreno

Stabilito il valore della pendenza della linea della fune portante la formula consente di determinare l'angolo tra tale linea e la retta perpendicolare alla linea di massima pendenza, tenuto conto della pendenza del terreno. Per esempio se la pendenza della linea della fune portante è pari a 23% ( $\text{tg} \alpha = 0,23$ ) e la pendenza del terreno è pari a 60% ( $\text{tg} \beta = 0,60$ ) allora  $\delta = 22,5^\circ$ .



<sup>2</sup> Si è scelto di calcolare l'angolo acuto compreso tra la linea della fune portante e una retta perpendicolare alla linea di massima pendenza perché in molte condizioni operative può corrispondere all'angolo acuto formato dall'intersezione della linea con l'asse della strada di servizio alla linea stessa.