

# ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901903805A1

Publication Date

20120630

Applicant

SPACE S.R.L. CON UNICO SOCIO

Title

DISPOSITIVO DI RILEVAMENTO, E RELATIVO SISTEMA DI  
DETERMINAZIONE DELL'ORIENTAMENTO DELLE RUOTE DI UN VEICOLO

## DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"DISPOSITIVO DI RILEVAMENTO, E RELATIVO SISTEMA DI DETERMINAZIONE DELL'ORIENTAMENTO DELLE RUOTE DI UN VEICOLO"

di SPACE S.R.L. CON UNICO SOCIO

di nazionalità italiana

con sede: VIA SANGANO 48

TRANA (TO)

Inventori: CERRUTI Piero, MANGANELLI Fausto

\* \* \*

La presente invenzione è relativa ad un dispositivo di rilevamento, e ad un relativo sistema di determinazione dell'orientamento delle ruote di un veicolo.

Sono noti sistemi di determinazione dell'orientamento delle ruote di un veicolo, in particolare un autoveicolo, che consentono una misurazione automatica di uno o più angoli caratteristici delle ruote, ad esempio gli angoli cosiddetti di convergenza e campanatura, al fine di verificare un corretto allineamento reciproco delle ruote stesse. In modo noto, infatti, uno scorretto allineamento, rispetto ai parametri di progetto, può causare un'eccessiva o non omogenea usura delle ruote, ed inoltre può causare problemi nella guidabilità e nella stabilità del veicolo.

I sistemi di determinazione dell'orientamento delle ruote di un veicolo sono in generale configurati per

rilevare, tramite opportuni dispositivi di rilevamento, l'orientamento spaziale del piano di ciascuna ruota rispetto ad un'unica terna ortonormale presa come riferimento (si noti che con "piano della ruota" si intende qui il piano in cui giace una superficie laterale esterna della ruota, ad esempio quello individuato dal relativo cerchione), in modo da consentire l'esecuzione di opportune azioni correttive per ripristinare l'allineamento reciproco delle ruote.

In particolare, alcuni sistemi prevedono l'utilizzo di dispositivi di rilevamento degli angoli caratteristici delle ruote, o comunque di opportuni elementi sensibili, direttamente accoppiati alle ruote del veicolo tramite appositi strumenti di aggancio (cosiddette "graffe"), in modo da individuarne l'orientamento; in questo caso, per evitare il danneggiamento dei dispositivi di rilevamento, è richiesta una notevole cura nel loro montaggio sulle ruote ed inoltre durante l'esecuzione delle fasi di misura.

Altri sistemi spostano il punto di osservazione al di fuori dal veicolo, in modo tale da definire un sistema di riferimento (SdR) fisso rispetto a quello dell'assetto, mediante l'osservazione delle variazioni angolari delle ruote attraverso uno o più dispositivi di rilevamento (cosiddette "teste di misura") disposti in posizione esterna al veicolo e svincolati dall'orientamento del

veicolo stesso. In tal caso, gli elementi che vengono applicati alle ruote del veicolo possono essere del tutto passivi, e dunque essere vantaggiosamente meno delicati e sensibili a danneggiamenti.

In particolare, alcuni sistemi prevedono il posizionamento dei dispositivi di rilevamento direttamente sul ponte sollevatore (atto a sollevare, in modo noto, il veicolo sotto osservazione), in posizione laterale rispetto al veicolo; altri sistemi prevedono il posizionamento degli stessi dispositivi di rilevamento in posizione frontale rispetto al veicolo stesso, su strutture fisse, o dotate di movimento proprio, disposte a distanza e svincolate sia dal veicolo, sia dal ponte sollevatore. Nel primo caso, i dispositivi di acquisizione di immagini seguono i movimenti del ponte sollevatore ma, per questo, ne devono compensare dinamicamente le deformazioni; nel secondo caso, i dispositivi di acquisizione di immagini si devono asservire al ponte in modo da mantenere il puntamento sulle ruote, ma non hanno la necessità di compensarne le deformazioni.

In ogni caso, tali sistemi utilizzano generalmente opportuni bersagli (cosiddetti "target") accoppiati alle ruote del veicolo in modo tale da metterne in evidenza la rotazione e la posizione nello spazio. I dispositivi di rilevamento includono in particolare opportuni strumenti di acquisizione di immagini, atti ad inquadrare i bersagli

accoppiati alle ruote ed acquisire immagini ad essi relative, sulla base delle quali vengono effettuate opportune elaborazioni per la determinazione dell'orientamento di ciascuna ruota ed il reciproco allineamento.

I bersagli di tipo noto presentano solitamente una superficie piana su cui sono raffigurate immagini bidimensionali di forme svariate, che possano essere riconosciute da un dispositivo di elaborazione accoppiato ai dispositivi di rilevamento, che esegue generalmente una operazione cosiddetta di "best fit" tra geometrie di immagini bidimensionali individuate su una superficie genericamente piana facente parte del target reale, e le immagini bidimensionali che i dispositivi di acquisizione immagini forniscono nel loro sistema di riferimento. Questa operazione consente di determinare dinamicamente l'orientamento del bersaglio nello spazio, e quindi di definire roto-traslazioni elementari relative al movimento lineare ed angolare di ciascuna ruota all'interno di un unico sistema di riferimento (ad esempio il sistema di riferimento del veicolo). In seguito, tali roto-traslazioni elementari, messe opportunamente in relazione tra loro, vengono utilizzate per la definizione di ulteriori rotazioni e traslazioni, più complesse, che riguardano più specificamente le caratteristiche di assetto ed

allineamento del veicolo.

Nell'utilizzo di tali sistemi in officina si possono verificare casi in cui la visibilità contemporanea, per ogni lato del veicolo, del bersaglio applicato alla ruota anteriore e di quello applicato alla ruota posteriore è resa difficoltosa, ed a volte impossibile, dalle caratteristiche dimensionali del veicolo stesso (che possono appartenere ad un'ampia gamma in cui la carreggiata può variare ad esempio tra 1000 mm e 1750 mm ed il passo può essere compreso ad esempio tra 1800 mm e 4100 mm), oppure può essere compromessa da un non corretto allineamento dello stesso veicolo sul ponte sollevatore. Pertanto, sistemi di allineamento di tipo noto, per coprire completamente la vasta gamma di veicoli esistenti, necessitano l'intervento dell'operatore che deve spostare ciascun dispositivo di rilevamento lungo il ponte in modo opportuno per adattarsi alla posizione delle ruote e degli associati bersagli.

Tale operazione può risultare fastidiosa, anche perché richiede uno spostamento manuale dei dispositivi di rilevamento, con il conseguente movimento dei relativi cablaggi; inoltre, la stessa operazione di spostamento può causare il danneggiamento accidentale dei dispositivi di rilevamento, in tal modo compromettendo le operazioni di misura, o dando origine ad errori di misura nel rilevamento

degli angoli di interesse.

Scopo della presente invenzione è quello di realizzare un dispositivo di rilevamento e di fornire un relativo sistema di determinazione dell'orientamento delle ruote di un veicolo, che consentano di risolvere, in tutto o in parte, le problematiche sopra evidenziate.

Secondo la presente invenzione vengono pertanto forniti un dispositivo di rilevamento ed un relativo sistema, come descritti nelle rivendicazioni allegate.

Per una migliore comprensione della presente invenzione, ne vengono ora descritte forme di realizzazione preferite, a puro titolo di esempio non limitativo e con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1 è una rappresentazione schematica di un sistema di determinazione dell'orientamento delle ruote di un veicolo, secondo un aspetto della presente invenzione;

- le figure 2a-2c mostrano schematicamente un bersaglio associato ad una ruota del veicolo nel sistema di figura 1;

- la figura 3 mostra il sistema di figura 1, in differenti condizioni operative di misura;

- la figura 4 è un diagramma a blocchi schematico di un dispositivo di rilevamento nel sistema di figura 1;

- le figure 5a-5c mostrano dettagli del dispositivo di rilevamento di figura 4, e di una associata unità di

movimentazione;

- le figure 6a-6b mostrano in maniera più dettagliata la realizzazione del dispositivo di rilevamento di figura 4;

- la figura 7 è un diagramma a blocchi funzionale del sistema di figura 1;

- la figura 8 mostra un diagramma di flusso per una procedura di calibrazione nel sistema di figura 1; e

- le figure 9a-9c mostrano grandezze geometriche associate alla procedura di calibrazione di figura 9.

La figura 1 mostra schematicamente un sistema, indicato nel suo insieme con 1, per la determinazione dell'orientamento (e reciproco allineamento) delle ruote 2 di un veicolo 3 (la cui sagoma è delineata in linea tratteggiata). Nell'esempio illustrato, il veicolo 3 è un autoveicolo dotato di quattro ruote 2, disposte a coppie sui lati sinistro e, rispettivamente, destro rispetto ad un asse longitudinale A di estensione del veicolo stesso. Il veicolo 3 è disposto su un ponte sollevatore 4, di tipo per sé noto e qui non descritto in dettaglio, ad esempio includente una prima ed una seconda pedana 4a, 4b, disposte da parte opposta rispetto all'asse longitudinale A, e su cui poggia una rispettiva coppia di ruote 2; le pedane 4a, 4b presentano un'estensione longitudinale lungo l'asse longitudinale A.

Il sistema 1 comprende una pluralità di bersagli 5, qui mostrati schematicamente, in numero pari al numero delle ruote 2, ciascun bersaglio 5 essendo accoppiato meccanicamente ad una rispettiva ruota 2 tramite un elemento di aggancio, o "graffa", 6; tale elemento di aggancio 6 può essere ad esempio realizzato come descritto nei modelli di utilità italiani IT-0000254272 e IT-0000254273, a nome della stessa richiedente.

Ciascun bersaglio 5 è vantaggiosamente realizzato come descritto nella domanda di brevetto ITTO20100377, ancora segreta, a nome della stessa richiedente; ciascun bersaglio 5 presenta dunque una particolare geometria tridimensionale "reale", tale da consentire l'individuazione di grandezze vettoriali disposte secondo una disposizione tridimensionale nota, ed in particolare l'individuazione di una terna di assi ortogonali associata all'orientamento dello stesso bersaglio 5, identificabile anche mediante l'elaborazione di una singola immagine bidimensionale proveniente da un unico elemento di cattura di immagini. Ciascun bersaglio 5 è costituito da una pluralità di elementi di bersaglio, anch'essi aventi una forma tridimensionale, disposti nel loro complesso a formare la struttura tridimensionale dello stesso bersaglio 5, ed aventi una forma geometrica tale da consentirne un agevole riconoscimento all'interno delle immagini bidimensionali.

Ciascun bersaglio 5, come mostrato schematicamente nelle figure 2a, 2b, è ad esempio costituito da due anelli circolari concentrici di elementi di bersaglio 5', disposti l'uno all'interno dell'altro (un primo anello, esterno, avendo un diametro  $d_1$  maggiore rispetto ad un secondo anello, interno, avente diametro  $d_2$ ). I due anelli circolari sono disposti su due piani distinti, tra loro paralleli e sovrapposti, ed i rispettivi centri  $O_1, O_2$  sono separati da una distanza  $h$ . Ciascun elemento di bersaglio 5' presenta una forma geometrica tridimensionale, in particolare sferica; vantaggiosamente, tale forma sferica fa sì che gli stessi elementi di bersaglio 5' mantengano invariata la loro forma all'interno di immagini bidimensionali inquadrare sotto una qualunque angolatura (all'interno di un dato intervallo angolare), risultando in tal modo facilmente individuabili; in particolare, il relativo centro geometrico, nel seguito definito "centro sfera", risulta facilmente individuabile in tali immagini bidimensionali. Infatti, le sfere presentano caratteristiche di isotropia sia rispetto alla forma, sia rispetto alla riflessione, in particolar modo rispetto ad una fonte di illuminazione coassiale agli elementi di cattura delle relative immagini.

In maggiore dettaglio, all'interno del bersaglio 5 viene individuata una terna di vettori, ortogonali tra

loro, allineati ciascuno lungo un rispettivo asse di una terna di assi ortogonali  $x_{trg}$ ,  $y_{trg}$ ,  $z_{trg}$  solidale allo stesso bersaglio 5. In particolare, viene individuato un primo vettore bersaglio (lungo l'asse  $z_{trg}$ ) corrispondente al vettore congiungente i due centri  $O_1$ ,  $O_2$  degli anelli circolari esterno ed interno formati dagli elementi di bersaglio 5'. All'interno dello stesso bersaglio 5 vengono inoltre individuati un secondo ed un terzo vettore bersaglio in funzione della posizione di specifici elementi di bersaglio 5'. Ad esempio, il secondo vettore bersaglio corrisponde al vettore congiungente i centri sfera di una prima coppia di prefissati elementi di bersaglio 5' dell'anello circolare esterno (allineati lungo l'asse  $x_{trg}$ ), mentre il terzo vettore bersaglio corrisponde al vettore congiungente i centri sfera di una seconda coppia di elementi di bersaglio 5', nuovamente appartenenti all'anello circolare esterno (allineati lungo l'asse  $y_{trg}$ ). Al fine di agevolare l'individuazione dei suddetti prefissati elementi del bersaglio 5' definenti i vettori bersaglio nelle immagini bidimensionali che vengono acquisite dai dispositivi di cattura immagini, il bersaglio 5 può vantaggiosamente comprendere uno o più elementi di riferimento 5'' che ne indicano l'orientamento, anch'essi aventi una geometria tridimensionale, ed in particolare una forma sferica, ad esempio con diametro inferiore rispetto

agli elementi di bersaglio 5' (così da essere facilmente riconoscibili).

In uso, il bersaglio 5 viene accoppiato ad una rispettiva ruota 2 del veicolo 3, mediante l'utilizzo dell'apposito elemento di aggancio 6, in modo tale che il piano definito dagli assi  $y_{trg}$ ,  $z_{trg}$  approssimi quello parallelo al piano della ruota stessa, e l'asse  $x_{trg}$  ne approssimi la normale. La relazione tra il sistema di riferimento del bersaglio e quello della ruota viene garantita per costruzione o mediante l'esecuzione di una opportuna procedura di calibrazione e taratura.

Come mostrato in figura 2c, in una sua possibile forma di realizzazione, il bersaglio 5 comprende una struttura di supporto S, che definisce al suo interno una superficie sferica concava (o una porzione di superficie sferica) su cui sono destinati ad essere disposti (ad esempio per incollaggio) gli elementi di bersaglio 5'. Ad esempio, la struttura di supporto S è costituita da una calotta sferica concava. Vantaggiosamente, tale conformazione consente un'agevole definizione della terna di assi ortogonali associati al bersaglio 5 (che corrisponde ad una terna di segmenti, o vettori, individuabili anche sul piano immagine, dove sono misurati in pixel). Nella forma di realizzazione di figura 2c, ad una porzione di bordo della struttura di supporto S sono accoppiati, ad esempio

incollati, gli elementi di bersaglio 5' definenti l'anello circolare esterno, mentre ad una porzione più interna della stessa struttura di supporto S, sono accoppiati gli elementi di bersaglio 5' definenti l'anello circolare interno. Gli anelli circolari esterno ed interno risultano in tal caso disposti su due sezioni di un segmento sferico sotteso dalla calotta sferica, parallele tra loro ed ortogonali all'asse del bersaglio. Un unico elemento di riferimento 5'' è in questo caso accoppiato alla stessa struttura di supporto S, internamente all'anello circolare interno degli elementi di bersaglio 5'. L'utilizzo di una conformazione del bersaglio 5 comprendente una struttura di supporto S a calotta sferica concava, contenente al suo interno gli elementi di bersaglio 5', consente l'individuazione della terna di vettori ortogonali associata al bersaglio in un ampio intervallo angolare di osservazione (ad esempio compreso tra  $-30^\circ$  e  $+30^\circ$ ).

Il sistema 1, si faccia nuovamente riferimento alla figura 1, comprende inoltre un primo ed un secondo dispositivo di rilevamento 7a, 7b, disposti lateralmente rispetto al veicolo 3 e rispetto alla zona di stazionamento dello stesso veicolo 3 sul ponte sollevatore 4, rispettivamente sul lato destro e sul lato sinistro del veicolo 3 rispetto all'asse longitudinale A. I dispositivi di rilevamento 7a, 7b sono posizionati in modo fisso

lateralmente rispetto al veicolo 3 (in corrispondenza di una rispettiva posizione di rilevamento) ed allineati in direzione trasversale all'asse longitudinale A; ad esempio, i dispositivi di rilevamento 7a, 7b sono accoppiati rigidamente al ponte sollevatore 4, ciascuno ad una rispettiva pedana 4a, 4b dello stesso ponte sollevatore 4, mediante un rispettivo meccanismo di aggancio rilasciabile (come illustrato in seguito). Inoltre, i dispositivi di rilevamento 7a, 7b sono posizionati in modo da risultare interposti, lungo l'asse longitudinale A, tra le due ruote 2 del veicolo 3 disposte sullo stesso lato rispetto all'asse longitudinale A.

Ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b è dotato di un primo e di un secondo elemento di acquisizione di immagini 8, 8', ad esempio includenti una telecamera, una fotocamera o un analogo strumento di cattura di immagini, configurati in modo da inquadrare, ciascuno, il bersaglio 5 associato ad una rispettiva ruota 2 della coppia di ruote 2 disposte dalla stessa parte dell'asse longitudinale A.

Il primo elemento di acquisizione di immagini 8 è ad esempio portato frontalmente dal relativo dispositivo di rilevamento 7a, 7b (rispetto al suddetto asse longitudinale A), in modo da inquadrare un bersaglio 5 in posizione anteriore (accoppiato cioè alla ruota 2 dell'asse anteriore del veicolo 3); mentre il secondo elemento di acquisizione

di immagini 8' è portato posteriormente dallo stesso dispositivo di rilevamento 7a, 7b (in posizione opposta rispetto al primo elemento di acquisizione di immagini 8 lungo l'asse longitudinale A), in modo da inquadrare un rispettivo bersaglio 5 in posizione posteriore (accoppiato cioè alla ruota 2 dell'asse posteriore del veicolo 3).

Ciascun elemento di acquisizione di immagini 8, 8' presenta una data apertura ottica (o area di visione), ad esempio con conformazione conica, indicata con V; tale apertura ottica presenta un'apertura angolare sufficiente a consentire una corretta inquadratura dei bersagli 5 anteriore e posteriore, nel caso di veicoli aventi misure di carreggiata e di passo medie, ed è ad esempio pari a  $56^\circ$ , in un piano orizzontale parallelo al piano della rispettiva pedana 4a, 4b (e sostanzialmente parallelo al suolo), e pari a  $43^\circ$  in un piano verticale. Tale angolo si può tradurre in focale degli stessi elementi di acquisizione di immagini 8, 8', che per l'angolo indicato diventa ad esempio pari a 6 mm.

Il sistema 1 comprende inoltre un dispositivo di elaborazione 9, ad esempio nella forma di un personal computer o di un qualunque altro dispositivo elaboratore dotato di un processore o analogo strumento di calcolo, operativamente accoppiato al primo ed al secondo dispositivo di rilevamento 7a, 7b, per il tramite di una

opportuna interfaccia di comunicazione, configurata in modo da implementare un trasferimento di dati, cablato o preferibilmente wireless (con una qualunque tecnica di per sé nota, ad esempio Bluetooth o Wifi). Come sarà descritto in dettaglio in seguito, il dispositivo di elaborazione 9 è configurato in modo da elaborare le immagini bidimensionali dei bersagli 5 fornite dai dispositivi di rilevamento 7a, 7b, riferite ai rispettivi sistemi di riferimento immagine, sulla base di un opportuno algoritmo di allineamento, al fine di determinare le caratteristiche di orientamento delle ruote 2 del veicolo 3, e di allineamento dello stesso veicolo 3, in un unico sistema di riferimento comune (ad esempio quello associato al veicolo 3).

In particolare, come sarà illustrato in dettaglio in seguito, ciascun dispositivo di rilevamento 7a e 7b contiene al suo interno un'unità di elaborazione intelligente, in grado di eseguire, per ciascun elemento di acquisizione di immagini 8, 8', una prima elaborazione delle immagini acquisite dei bersagli 5, identificando su tali immagini alcuni punti significativi. Queste informazioni, insieme ad ulteriori informazioni fornite da sensori di allineamento contenuti anch'essi all'interno dei dispositivi di rilevamento 7a e 7b, vengono inviate al dispositivo di elaborazione 9 per l'implementazione dell'algoritmo di allineamento.

Come sarà chiarito in seguito, secondo un aspetto particolare della presente invenzione, per fare in modo che i dispositivi di rilevamento 7a, 7b forniscano inquadrature corrette dei bersagli 5 anche nel caso in cui le dimensioni del veicolo 3 differiscano in modo sostanziale da quelle medie, o per ovviare a posizionamenti poco accurati del veicolo stesso sul ponte sollevatore 4, il primo ed il secondo elemento di acquisizione di immagini 8, 8' all'interno di ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b, sono mobili, in particolare possono essere azionati in modo automatico per eseguire una rotazione controllata nel suddetto piano orizzontale, da un'unità di movimentazione integrata nel rispettivo dispositivo di rilevamento 7a, 7b, in modo tale da variare l'orientazione della rispettiva apertura ottica fino a quando l'inquadratura non risulti ottimale (in altre parole, in modo tale da asservirsi in modo automatico alla posizione dei rispettivi bersagli 5). In tal modo, è possibile variare l'area di spazio inquadrata, al fine di inquadrare in modo ottimale il rispettivo bersaglio 5 (ovvero posizionare ad esempio lo stesso bersaglio 5 sostanzialmente al centro dell'apertura ottica), al variare della posizione dell'associata ruota 2, a causa ad esempio: di un approssimativo allineamento del veicolo 3 rispetto al ponte sollevatore 4; della variazione del passo da veicolo a veicolo; o ancora della variazione

della collocazione della ruota 2 internamente o esternamente rispetto alla carreggiata definita dalla pedana 4a, 4b del ponte sollevatore 4 (lungo una direzione ortogonale all'asse longitudinale A, appartenente al piano orizzontale).

Vantaggiosamente, e come schematizzato nella figura 3, la rotazione controllata degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' è tale da consentire, pur posizionando in modo fisso ciascuno dei due dispositivi di rilevamento 7a, 7b rispetto al veicolo 3 (in particolare in posizione rigidamente vincolata al ponte sollevatore 4, o comunque lateralmente alla zona di stazionamento del veicolo 3), di inquadrare i bersagli 5 posizionati sulle ruote 2 in tutte le possibili condizioni di misura, che vanno ad esempio dal caso di veicolo 3 con passo minimo e le cui le ruote 2 vengono posizionate sul bordo esterno della carreggiata della rispettiva pedana 4a, 4b (caso mostrato in linea continua), al caso di veicolo 3 con passo massimo e le cui ruote 2 vengono posizionate sul bordo interno della stessa carreggiata (caso mostrato in linea tratteggiata), il bordo esterno risultando più prossimo al rispettivo dispositivo di rilevamento 7a, 7b.

In particolare, in figura 3 sono illustrate due possibili posizioni degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8', a cui corrispondono rispettive aree di

visione, indicate con V1 e V2, che sono il risultato di una rotazione controllata degli stessi elementi di acquisizione di immagini 8, 8' eseguita al fine di continuare ad inquadrare i bersagli 5 associati alle ruote 2 del veicolo 3, anche in condizioni di misura estremamente differenti tra loro (relativamente al posizionamento del veicolo 3 sul ponte sollevatore 4). Sempre in figura 3 si può notare inoltre la presenza di opportuni sensori di allineamento (descritti in seguito), portati da ciascuno degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8', per inquadrare l'altro elemento di acquisizione di immagini 8, 8', disposto in posizione affacciata rispetto all'asse longitudinale A.

In particolare, l'unità di movimentazione integrata in ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b può vantaggiosamente ricevere opportuni segnali di comando dall'esterno, ad esempio dal dispositivo di elaborazione 9, così da orientare automaticamente (senza alcun intervento da parte dell'utente) gli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' per inquadrare i relativi bersagli 5. Il dispositivo di elaborazione 9, in funzione dell'elaborazione delle immagini acquisite (e dell'individuazione degli elementi di bersaglio 5'), è infatti in grado di stabilire la posizione relativa del bersaglio 5 rispetto all'apertura ottica di ciascun elemento di acquisizione di immagini 8, 8', e determinare

di conseguenza la rotazione richiesta da impartire tramite l'unità di movimentazione per inquadrare in modo ottimale il bersaglio stesso. Ad esempio, può essere eseguito un procedimento iterativo che prevede di impartire rotazioni successive agli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' fino a quando uno o più elementi di riferimento del bersaglio 5'' non si trovino in una posizione prestabilita sul piano immagine, indicativa di un'inquadratura ottimale del bersaglio 5.

In alternativa, l'unità di elaborazione intelligente integrata in ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b può essere essa stessa in grado di eseguire prime elaborazioni delle immagini acquisite, tra l'altro per determinare autonomamente le rotazioni richieste per inquadrare nel modo ottimale i relativi bersagli 5 (ad esempio, nuovamente mediante l'individuazione della posizione di specifici elementi di bersaglio 5' nel piano immagine); in tal caso, i segnali di comando per l'unità di movimentazione 10 vengono dunque generati internamente agli stessi dispositivi di rilevamento 7a, 7b.

Come illustrato in figura 4, che mostra schematicamente un singolo dispositivo di rilevamento (ad esempio il dispositivo di rilevamento 7a, ma si intende che considerazioni del tutto analoghe valgano per il dispositivo di rilevamento 7b), e più in dettaglio nelle

successive figure 5a-5c e 6a-6b, la suddetto unità di movimentazione, indicata con 10, comprende:

- un motore 11, ad esempio un motore passo-passo, atto ad impartire la rotazione controllata agli elementi di acquisizione di immagine 8, 8';

- un primo ingranaggio 12, calettato sull'albero del motore 11, ed avente una ruota dentata con un primo numero  $n_1$  di denti;

- un secondo ingranaggio 13, ingranante con il primo ingranaggio 12 ed avente un secondo numero  $n_2$  di denti, maggiore del primo numero  $n_1$  (ad esempio pari a dieci volte lo stesso primo numero  $n_1$ ), ed accoppiato meccanicamente al primo elemento di acquisizione di immagini 8 in modo tale da provocarne la rotazione controllata in funzione del movimento del motore 11; ed

- un terzo ingranaggio 14, avente caratteristiche meccaniche, ed in particolare numero di denti, uguali a quelle del secondo ingranaggio 13, e posizionato in modo da essere a contatto del, ed ingranare con lo stesso secondo ingranaggio 13.

Il terzo ingranaggio 14 è accoppiato meccanicamente al secondo elemento di acquisizione di immagini 8', in modo tale da provocarne la rotazione controllata in funzione del movimento del motore 11 e della rotazione del secondo ingranaggio 13; dato che le caratteristiche meccaniche del

secondo e del terzo ingranaggio 13, 14 sono sostanzialmente identiche, il primo ed il secondo elemento di acquisizione di immagini 8, 8' si muovono, in uso, della stessa quantità e subiscono la stessa rotazione controllata, ruotando dello stesso angolo nel piano orizzontale.

Si definisce in particolare un sistema di riferimento dispositivo associato e solidale a ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b, costituito dagli assi orizzontali  $x_{sns}$  e  $z_{sns}$  (che definiscono il suddetto piano orizzontale), e dall'asse verticale  $y_{sns}$ , ortogonale allo stesso piano orizzontale.

In maniera analoga, si definiscono gli assi di rotazione  $A_{yf}$ ,  $A_{yr}$  degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' (dove il suffisso "f" indica la posizione "frontale", mentre il suffisso "r" indica la posizione "posteriore" rispetto all'asse longitudinale A), sostanzialmente ortogonali al piano orizzontale; ed inoltre i raggi di rotazione  $R_f$ ,  $R_r$  associati agli stessi elementi di acquisizione di immagini 8, 8' rispetto al relativo asse di rotazione  $A_{yf}$ ,  $A_{yr}$ . Si noti che le intersezioni dei suddetti assi di rotazione  $A_{yf}$ ,  $A_{yr}$  con il piano orizzontale risultano allineate lungo l'asse longitudinale A, così come risultano allineati i relativi secondo e terzo ingranaggio 13, 14.

Inoltre, si definisce un sistema di riferimento

immagine associato e solidale a ciascun elemento di acquisizione di immagini 8, 8', costituito dagli assi orizzontali  $x_{tel}$  e  $z_{tel}$ , giacenti sul piano orizzontale, e dall'asse verticale  $y_{tel}$ , ortogonale allo stesso piano orizzontale. In particolare, gli assi  $x_{tel}$  e  $y_{tel}$  definiscono il piano immagine associato alle immagini bidimensionali catturate dal rispettivo elemento di acquisizione di immagini 8, 8' (il piano cioè in cui le dimensioni degli oggetti vengono valutate in numero di pixel), e l'asse  $z_{tel}$  coincide con l'asse ottico dello stesso elemento di acquisizione di immagini 8, 8' (ovvero, con l'asse di simmetria della rispettiva area di visione o apertura ottica V).

Al fine di evitare che eventuali giochi tra i suddetti ingranaggi possano causare una mancanza di ripetibilità tra i movimenti degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8', e conseguenti errori di misura, un aspetto della presente invenzione prevede l'utilizzo di ingranaggi con recupero dei giochi.

In maggiore dettaglio, come mostrato in figura 5a (che illustra, dal basso, una porzione del dispositivo di rilevamento 7a, con parti asportate per maggiore chiarezza), l'unità di movimentazione 10 è accoppiata meccanicamente ad un supporto di base 16 del dispositivo di rilevamento 7a, ad esempio costituito da una piastra in

alluminio. In particolare, il primo, il secondo ed il terzo ingranaggio 12, 13, 14 sono disposti inferiormente al supporto di base 16, da parte opposta rispetto agli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' rispetto all'asse  $y_{sns}$ ; in altre parole, i suddetti ingranaggi sono accoppiati ad una superficie inferiore 16a del supporto di base 16, mentre gli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' sono disposti al di sopra di una superficie superiore 16b dello stesso supporto di base 16. Il sistema di riferimento dispositivo è ad esempio solidale al supporto di base 16.

Il secondo ed il terzo ingranaggio 13, 14, si veda anche la figura 5b (che nostra, a titolo di esempio, un dettaglio del secondo ingranaggio 13), sono montati in modo girevole attorno ad un rispettivo albero 17, accoppiato rigidamente al supporto di base 16.

In particolare, ciascuno degli ingranaggi 13, 14 comprende: una coppia di ruote dentate 18, 19, calettate intorno allo stesso albero 17 in modo da essere sovrapposte verticalmente (nel senso della direzione dell'asse di rotazione), ed aventi le stesse caratteristiche geometriche (tra cui lo stesso diametro e lo stesso numero di denti); ed inoltre un elemento di polarizzazione elastica 20, includente una molla, interposto tra, ed atto ad accoppiare meccanicamente, le ruote dentate 18, 19. Ciascuna ruota

dentata 18, 19 della coppia associata al secondo ingranaggio 13 è disposta in modo da ingranare con la corrispondente ruota dentata della coppia associata al terzo ingranaggio 14.

In tal modo, anche nel caso in cui una prima ruota dentata della coppia (ad esempio la ruota dentata 18) per qualche motivo presenti un determinato gioco (ad esempio, a causa dell'usura dei relativi denti), tale gioco può essere compensato, in uso, dalla seconda ruota dentata (nell'esempio la ruota dentata 19) della stessa coppia, che, ingranando in maniera corretta con la ruota dentata ad essa associata, è in grado di trascinare, per il tramite dell'elemento di polarizzazione 20, la prima ruota dentata, in tal modo favorendo il recupero dell'associato gioco.

Tramite questa disposizione, il secondo ed il terzo ingranaggio 13, 14 recuperano reciprocamente gli eventuali giochi, ed al tempo stesso viene recuperato anche il gioco eventualmente presente sul primo ingranaggio 12, calettato sull'albero del motore 11.

Inoltre, come illustrato in figura 5c, al supporto di base 16 di ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b è associato un meccanismo di aggancio 21, per l'accoppiamento al ponte sollevatore 4. Tale meccanismo di aggancio 21 comprende: una piastra di accoppiamento 21a, destinata ad accoppiarsi, ad esempio mediante viti o analoghi elementi

di fissaggio, con la superficie inferiore 16a del supporto di base 16; ed una porzione di aggancio 21b, collegata alla piastra di accoppiamento 21a per il tramite di una cerniera 21c, e destinata ad accoppiarsi ad una rispettiva pedana 4a, 4b del ponte sollevatore 4 in modo tale che il piano orizzontale del supporto di base 16 sia sostanzialmente parallelo al piano della pedana stessa. In particolare, la cerniera 21c consente una rotazione del supporto di base 16, e del relativo dispositivo di rilevamento 7a, 7b, intorno ad un asse di rotazione R definito dalla cerniera stessa, al di fuori del piano orizzontale. Risulta così possibile ridurre l'ingombro dei dispositivi di rilevamento 7a, 7b rispetto al ponte sollevatore 4, quando la procedura di allineamento del veicolo 3 viene arrestata. Inoltre, tale rotazione può garantire l'integrità dei dispositivi di rilevamento 7a, 7b qualora, abbassando il ponte sollevatore, si incontrasse un ostacolo, che potrebbe altrimenti danneggiare gli stessi dispositivi di rilevamento 7a, 7b nel caso in cui fossero fissati in modo rigido.

Come evidenziato nei disegni particolareggiati delle figure 6a, 6b, riferiti a titolo di esempio ad un singolo dispositivo di rilevamento (ad esempio il dispositivo di rilevamento 7a, ma considerazioni del tutto analoghe valgono per l'altro dispositivo di rilevamento 7b), il

primo ed il secondo elemento di acquisizione di immagini 8, 8' sono accoppiati meccanicamente all'albero 17 rispettivamente del secondo e del terzo ingranaggio 13, 14, in modo tale da essere portati in rotazione in funzione delle rotazioni degli stessi ingranaggi 13, 14. Come mostrato in tali figure, l'apertura ottica V degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' presenta inoltre una data inclinazione non nulla rispetto al piano orizzontale.

Ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b presenta un involucro 22, ad esempio di materiale plastico, che racchiude al suo interno l'unità di movimentazione 10, gli associati elementi di acquisizione di immagini 8, 8' ed il supporto di base 16. L'involucro 22 presenta, in corrispondenza di ciascun elemento di acquisizione di immagini 8, 8' una opportuna finestra 23 (in particolare definente un'apertura, oppure dotata di una porzione di materiale trasparente), in modo tale da non ostacolare la relativa apertura ottica V. Vantaggiosamente, la particolare disposizione dell'unità di movimentazione 10 e degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' consente di ridurre l'ingombro verticale dell'involucro 22 ed in generale del dispositivo di rilevamento 7a, 7b.

Come visibile ad esempio in figura 6b, ad ogni elemento di acquisizione di immagini 8, 8' è inoltre associato un opportuno elemento illuminatore 24, ad esempio

includente una schiera di LED operante negli infrarossi, tale da indirizzare un fascio luminoso nella direzione dell'apertura ottica V dello stesso elemento di acquisizione di immagini, coassialmente ad essa, così da consentire l'acquisizione di immagini definite anche in condizioni di scarsa luce ambientale. La lunghezza d'onda della radiazione utilizzata per l'operazione di illuminazione può in generale essere definita in funzione del bersaglio 5, e così pure la sua frequenza di accensione; ad esempio, può essere utilizzata una fonte di illuminazione visibile, anziché infrarossa.

Come illustrato schematicamente nella suddetta figura 4 e ad esempio in figura 5a, ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b comprende inoltre opportuni sensori di allineamento configurati in modo da consentire, mediante opportune elaborazioni dei segnali elettrici rilevati (come sarà discusso in dettaglio in seguito), di mettere in relazione i sistemi di riferimento dei dispositivi di rilevamento 7a, 7b, per definirne la reciproca disposizione spaziale.

In dettaglio, ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b comprende un encoder 25, operativamente accoppiato all'albero di rotazione del motore 11, per rilevare la posizione angolare assunta dagli elementi di acquisizione di immagini 8, 8'. Si noti che il posizionamento

dell'encoder 25 sull'albero del motore 11 consente di incrementare la precisione della lettura, dato il rapporto di trasmissione (dato dal rapporto  $n_2/n_1$ , ad esempio pari a 10) imposto tra l'angolo di rotazione dell'albero del motore 11 e l'angolo di rotazione degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8'. In alternativa, è comunque possibile prevedere l'utilizzo di due encoder (o analoghi sensori angolari), per misurare indipendentemente la rotazione del secondo e del terzo ingranaggio 13, 14, e l'associata rotazione degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8'.

Ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b comprende inoltre:

- un inclinometro 27, solidale all'involucro 22, per determinare le rotazioni verticali del dispositivo di rilevamento 7a, 7b (ed in particolare le rotazioni compiute al di fuori del piano orizzontale, intorno agli assi  $x_{sns}$  e  $z_{sns}$ );

- un primo sensore di immagine 28a, ad esempio di tipo CCD (Charge Coupled Device), avente estensione orizzontale lungo un dato asse del sensore (ad esempio lungo l'asse  $z_{sns}$ ), in modo da consentire di rilevare una rotazione orizzontale del dispositivo di rilevamento 7a, 7b rispetto alla direzione individuata dall'asse  $y_{sns}$ , in particolare relativamente alla posizione del dispositivo di rilevamento

7b, 7a, disposto sull'altro lato del veicolo 3 (il valore di questo angolo di rotazione contribuisce alla definizione della rotazione reciproca tra i due dispositivi di rilevamento 7a, 7b); ed

- un secondo sensore di immagine 28b, ad esempio nuovamente di tipo CCD, avente estensione verticale, ortogonale al piano orizzontale, ad esempio lungo l'asse  $y_{sns}$ , in modo da rilevare la rotazione del dispositivo di rilevamento 7a, 7b rispetto all'asse  $z_{sns}$ .

Le misure fornite dagli inclinometri 27 contribuiscono dunque ad orientare i dispositivi di rilevamento 7a, 7b in modo assoluto nello spazio, ed inoltre, vantaggiosamente, in modo relativo tra loro, così che sia possibile svincolarsi, ad esempio, dall'inclinazione assunta dalle pedane 4a, 4b che compongono il ponte sollevatore 4; gli angoli rilevati dalle due coppie di sensori di immagine 28a e 28b appartenenti ai dispositivi di rilevamento 7a e 7b, insieme al valore della distanza tra gli stessi dispositivi di rilevamento 7a e 7b rilevata dai primi sensori di immagine 28a (CCD orizzontali), vengono inoltre utilizzati per individuare gli scorrimenti reciproci dei due dispositivi di rilevamento 7a e 7b, rispettivamente lungo gli assi  $x_{sns}$  e  $y_{sns}$ .

Ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b comprende inoltre, si faccia nuovamente riferimento alla figura 4 ed

inoltre alla figura 7:

- un circuito elettronico di acquisizione 30, accoppiato elettricamente agli elementi di acquisizione di immagini 8, 8', in modo da ricevere le immagini bidimensionali acquisite relative ai rispettivi bersagli 5;

- un circuito di calcolo 32, includente un microprocessore (o un analogo strumento di calcolo), accoppiato elettricamente al circuito elettronico di acquisizione 30, ed opportunamente programmato per effettuare elaborazioni, cosiddette "di basso livello" delle immagini acquisite, in particolare per individuare e determinare le dimensioni in pixel di alcune informazioni bidimensionali (ad esempio relative ai suddetti vettori bersaglio), che verranno in seguito valutate dal dispositivo di elaborazione 9 per l'individuazione dell'orientamento dei bersagli 5 e delle ruote 2 a cui sono associati. Ad esempio, il circuito di calcolo 32 rileva la posizione di elementi del bersaglio 5', ritenuti significativi, che individuano cioè, in modo prestabilito, la terna ortonormale associata allo stesso bersaglio 5, in particolare per ricavare le proiezioni sul piano immagine degli stessi vettori bersaglio;

- un circuito elettronico di interfaccia 34, per l'interfacciamento con il dispositivo di elaborazione 9 attraverso l'interfaccia di comunicazione (cablata, ad

esempio con protocollo seriale, oppure wireless), ed in particolare per inviare allo stesso dispositivo di elaborazione 9 i valori di uscita dei sensori di allineamento presenti all'interno del dispositivo di rilevamento 7a, 7b (inclinometro 27, encoder 25, e primo e secondo sensore di immagine 28a, 28b), ed inoltre i risultati dell'elaborazione di basso livello delle immagini eseguita dal circuito di calcolo 32; ed

- un circuito di pilotaggio 35, configurato in modo da pilotare opportunamente il motore 11, in funzione di opportuni segnali di comando ricevuti ad esempio dall'esterno del dispositivo di rilevamento 7a, 7b, in particolare dallo stesso dispositivo di elaborazione 9, tramite il circuito elettronico di interfaccia 34.

Convenientemente, il circuito elettronico di acquisizione 30, il circuito di calcolo 32 ed il circuito elettronico di interfaccia 34 (definiti complessivamente l'unità di elaborazione intelligente interna a ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b) possono essere integrati in un'unica scheda a circuito stampato (non illustrata), accoppiata opportunamente al supporto di base 16 all'interno dell'involucro 22 del dispositivo di rilevamento 7a, 7b.

Facendo riferimento alla stessa figura 7, il dispositivo di elaborazione 9, accoppiato esternamente ai

dispositivi di rilevamento 7a, 7b, comprende un primo ed un secondo stadio di elaborazione 40a, 40b, accoppiati rispettivamente al primo ed al secondo dispositivo di rilevamento 7a, 7b.

Ciascuno stadio di elaborazione 40a, 40b comprende: un'unità di interfaccia 42a, 42b, configurata in modo da accoppiarsi al circuito elettronico di interfaccia 34 del rispettivo dispositivo di rilevamento 7a, 7b, per ricevere le informazioni precedentemente evidenziate, tra cui i risultati dell'elaborazione di basso livello delle immagini eseguita dal circuito di calcolo 32; ed una prima unità di calcolo 43a, 43b, configurata in modo da eseguire un algoritmo di conversione delle informazioni bidimensionali ricevute dal rispettivo dispositivo di rilevamento 7a, 7b in coordinate tridimensionali (3D) angolari e lineari (relative alle caratteristiche geometriche di orientamento spaziale dell'associato bersaglio 5) nel sistema di riferimento immagine di ciascun elemento di acquisizione di immagini 8, 8', in funzione tra l'altro di opportuni parametri di calibrazione per ciascuno degli stessi elementi di acquisizione di immagini 8, 8', acquisiti durante una procedura di calibrazione preliminare (eseguita ad esempio in fabbrica, al termine del procedimento di assemblaggio dei dispositivi di rilevamento 7a, 7b). I suddetti parametri di calibrazione sono vantaggiosamente

memorizzati in un primo database di calibrazione 44a, 44b, all'interno del dispositivo di elaborazione 9.

Il dispositivo di elaborazione 9 comprende inoltre una seconda unità di calcolo 45a, 45b, accoppiata operativamente alla prima unità di calcolo 43a, 43b, configurata in modo da eseguire un algoritmo di conversione delle suddette coordinate tridimensionali angolari e lineari nel sistema di riferimento dispositivo di ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b, in funzione tra l'altro di opportuni parametri di calibrazione relativi alla relazione spaziale tra gli elementi di acquisizione di immagini 8, 8', acquisiti durante la procedura di calibrazione preliminare (eseguita in sede di fabbricazione e/o in sede di installazione del sistema) e memorizzati in un secondo database di calibrazione 47a, 47b.

Il dispositivo di elaborazione 9 comprende inoltre una unità di determinazione allineamento 48, che acquisisce in ingresso i dati generati in uscita dalle seconde unità di calcolo 45a, 45b (riferiti singolarmente ai rispettivi dispositivi di rilevamento 7a, 7b); e converte le coordinate tridimensionali angolari e lineari in un unico sistema di riferimento in comune (ad esempio, il sistema di riferimento del veicolo 3), in funzione tra l'altro di opportuni parametri di calibrazione relativi alla relazione tra i dispositivi di rilevamento 7a, 7b (ad esempio in

termini del reciproco orientamento spaziale), acquisiti durante una procedura di calibrazione preliminare eseguita in sede di installazione del sistema e memorizzati in un terzo database di calibrazione 49, ed inoltre acquisiti dinamicamente (cioè, durante l'esecuzione delle stesse misure di allineamento) mediante i risultati delle misure eseguite dai sensori di allineamento collocati all'interno dei dispositivi di rilevamento 7a e 7b, come illustrato in precedenza. L'unità di determinazione allineamento 48 è quindi in grado di determinare e presentare in uscita (tramite opportuni mezzi di visualizzazione 50) i risultati relativi all'allineamento delle ruote 2 del veicolo 3 (ad esempio in termini dei relativi angoli di convergenza e campanatura).

Come sarà ora descritto in dettaglio, un aspetto particolare del sistema 1 consente proprio di evitare, durante le fasi di misura, ulteriori procedure di taratura e calibrazione dei dispositivi di rilevamento 7a, 7b, in quanto prevede l'utilizzo dei parametri di calibrazione precedentemente determinati e memorizzati (in sede di fabbricazione e/o in sede di installazione) per mettere in relazione le misure effettuate dai vari elementi di acquisizione di immagine. Durante le misurazioni è sufficiente apportare dunque, in maniera dinamica, opportune correzioni dei valori rilevati, per tenere conto

delle relazioni tra i vari elementi di misura determinate durante la suddetta procedura preliminare di calibrazione ed eventualmente delle misure fornite dai suddetti sensori di allineamento, per riportare tutte le misure in un unico sistema di riferimento (ad esempio quello associato al veicolo 3), all'interno del quale vengono riferiti i risultati di allineamento.

In particolare, all'interno di ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b, in funzione delle immagini catturate dagli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' vengono elaborate rispettive immagini di basso livello (includenti un dato numero ristretto di punti bidimensionali); tali immagini vengono quindi interpretate, alla luce dei parametri di taratura degli stessi elementi di acquisizione di immagini 8, 8', per risalire alla posizione ed all'orientamento dei bersagli 5 nel sistema di riferimento di ciascun elemento di acquisizione di immagini 8, 8' che lo osserva (ottenendo dunque le informazioni di orientamento e posizione dei bersagli 5 in quattro differenti sistemi di riferimento). Scopo dei vari sensori di allineamento (tra cui l'inclinometro 27 ed i sensori di immagine 28a, 28b) presenti all'interno dei dispositivi di rilevamento 7a, 7b è proprio quello di consentire di convertire le misure in un unico sistema di riferimento, mediante una opportuna procedura di calibrazione.

In generale, una prima fase 52 della procedura di calibrazione, si veda la figura 8, prevede di definire gli assi di rotazione  $A_{yf}$ ,  $A_{yr}$  per ciascun elemento di acquisizione di immagini 8, 8' ed inoltre i raggi di rotazione  $R_r$ ,  $R_f$  associati agli stessi elementi di acquisizione di immagini 8, 8' rispetto al relativo asse di rotazione  $A_{yf}$ ,  $A_{yr}$ ; in tale fase 52, viene cioè definito il modello di rotazione che descrive e definisce la rotazione dei due elementi di acquisizione di immagini 8, 8' di ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b.

Successivamente, fase 53, la procedura di calibrazione prevede di mettere in relazione i sistemi di riferimento dei due elementi di acquisizione di immagini 8, 8' tra loro e rispetto al sistema di riferimento dispositivo del relativo dispositivo di rilevamento 7a, 7b, utilizzando gli angoli forniti dall'inclinometro 27 e dal primo sensore di immagine 28a quando i due elementi di acquisizione di immagini 8, 8' si trovano in una data posizione di riferimento nota. Durante le misure, al variare dell'angolo di rotazione degli stessi elementi di acquisizione di immagini 8, 8', questa relazione potrà essere facilmente aggiornata in maniera dinamica, utilizzando i modelli di rotazione definiti nella fase 50.

Si noti che tali fasi di taratura consentono di individuare l'eventuale "fuori centro" nell'accoppiamento

tra gli ingranaggi che si potrebbe tradurre in differenti valori di rotazione angolare effettuati dagli ingranaggi 13, 14 rispetto a quelli nominali determinati dal rapporto dei denti delle relative ruote dentate; essendo tale errore ripetibile, la procedura di taratura consente dunque di tenerne conto, mediante l'utilizzo degli opportuni parametri di calibrazione.

Quindi, fase 54, gli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' appartenenti ad un dispositivo di rilevamento 7a, vengono messi in relazione con quelli appartenenti all'altro dispositivo di rilevamento 7b, mettendo in relazione tra di loro i sistemi di riferimento dei rispettivi dispositivi di rilevamento 7a, 7b.

Successivamente, fase 55, vengono definite le relazioni di calibrazione tra i sistemi di riferimento dei rispettivi dispositivi di rilevamento 7a, 7b ed il sistema di riferimento unico, ad esempio quello del veicolo 3, all'interno del quale saranno visualizzati i risultati delle misure angolari e lineari relativamente all'allineamento del veicolo 3 (ad esempio in termini degli angoli di convergenza e campanatura delle ruote 2).

In maggiore dettaglio, e facendo dapprima riferimento alla figura 9a, nella suddetta fase 52, vengono azzerate le misure dell'inclinometro 27 (che viene mostrato nella suddetta figura 9a come includente un primo ed un secondo

elemento di misura 27a, 27b, atti a fornire rispettivi valori di rotazione intorno agli assi orizzontali  $x_{sns}$  e  $z_{sns}$ ) e dei sensori di immagine 28a, 28b; quindi, si posizionano gli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' in una rispettiva prima posizione angolare indicata con  $pos1$ ; ad esempio, si veda anche la figura 3, tale prima posizione angolare  $pos1$  corrisponde ad una prefissata posizione di riferimento, ad esempio ad una posizione angolare limite per riuscire ad inquadrare i bersagli 5 applicati alle ruote 2 di un veicolo 3 dotato di passo/carreggiata minimi (tale posizione è dunque prestabilita e nota a priori).

Si noti che alle rotazioni degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8', impartite dall'unità di movimentazione 10, sono associati gli angoli di rotazione  $\theta_{fi}$  e  $\theta_{ri}$  (dove i suffissi "f" e "r" indicano nuovamente la posizione frontale o posteriore del relativo elemento di acquisizione di immagini 8, 8'), riferiti all'asse  $z_{sns}$  del sistema di riferimento del relativo dispositivo di rilevamento 7a.

Dopo aver eseguito la misura in tale prima posizione angolare, si ruotano gli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' di un dato angolo di rotazione  $\theta_{f2}$ ,  $\theta_{r2}$ , si veda anche la figura 9b, tale per cui gli stessi elementi di acquisizione di immagini 8, 8' raggiungono una seconda

posizione angolare, indicata con  $pos2$ , che garantisce ancora la visibilità dei rispettivi bersagli 5.

I risultati delle misure in tale seconda posizione angolare  $pos2$  consentono di determinare i vettori  $Vt_{f2}$  e  $Vt_{r2}$ , che descrivono gli spostamenti vettoriali degli stessi elementi di acquisizione di immagini 8, 8' per effetto della rotazione dell'angolo di rotazione  $\theta_{f2}$ ,  $\theta_{r2}$ , ed inoltre le matrici di rotazione  $matRot_{f(2-1)}$  e  $matRot_{r(2-1)}$  che ruotano i sistemi di riferimento degli stessi elementi di acquisizione di immagini 8, 8' passando dalla prima ( $pos1$ ) alla seconda ( $pos2$ ) posizione angolare.

In particolare, dalla figura 9b, si ricava che valgono le seguenti espressioni per i raggi di rotazione  $R_f$ ,  $R_r$ :

$$R_f = (Vt_{f2}/2) / \sin(\theta_{f2}/2)$$

$$R_r = (Vt_{r2}/2) / \sin(\theta_{r2}/2)$$

Inoltre, indicando con  $z_{te1f1} = z_{te1r1} = \{0, 0, 1\}$  l'asse  $z_{te1}$  degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' nella prima posizione angolare ( $pos1$ ) (si ricorda che tale asse coincide con l'asse ottico degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8'), l'asse  $z_{te1}$  degli stessi elementi di acquisizione di immagini 8, 8' nella seconda posizione angolare ( $pos2$ ) può essere espresso come:

$$z_{te1f2} = z_{te1f1} * matRot_{f(2-1)}$$

$$z_{te1r2} = z_{te1r1} * matRot_{r(2-1)}$$

A questo punto, si possono definire i due assi di

rotazione  $A_{yf}$ ,  $A_{yr}$  degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' tramite le seguenti espressioni:

$$A_{yf} = z_{telf1} \text{ vett } z_{telf2}$$

$$A_{yr} = z_{telr1} \text{ vett } z_{telr2}$$

dove il simbolo "vett" indica l'operazione di prodotto vettoriale.

Nella successiva fase 53, la procedura di calibrazione prevede, come indicato in precedenza, di mettere in relazione i sistemi di riferimento dei due elementi di acquisizione di immagini 8, 8' tra loro e rispetto all'asse  $z_{sns}$  del sistema di riferimento del relativo dispositivo di rilevamento 7a nella prima posizione angolare pos1 (tra l'altro utilizzando le misure dell'inclinometro 27 e del primo sensore di immagine 28a).

In particolare, si faccia nuovamente riferimento alla figura 9a ed inoltre alla figura 9c, i due elementi di acquisizione di immagini 8, 8' vengono ruotati di un dato angolo di rotazione  $\theta_{f3}$ ,  $\theta_{r3}$ , partendo dalla prima posizione angolare pos1 ruotando in senso opposto rispetto alla rotazione relativa alla seconda posizione angolare pos2, in modo da raggiungere una terza posizione angolare pos3, in cui riescano ad inquadrare entrambi un bersaglio di riferimento 60 avente un proprio sistema di riferimento  $x_{trg\_ref}$ ,  $y_{trg\_ref}$ ,  $z_{trg\_ref}$ .

Il bersaglio di riferimento 60 è configurato in modo

tale che, quando l'angolo letto dal primo sensore di immagine 28a è pari a zero, l'asse  $z_{\text{ref\_trg}}$  coincide con l'asse  $z_{\text{sns}}$  del sistema di riferimento associato e solidale al dispositivo di rilevamento 7a (che costituisce inoltre l'asse di riferimento per le rotazioni angolari  $\theta_{\text{fi}}$  e  $\theta_{\text{ri}}$ ).

Risulta quindi possibile definire la relazione tra i sistemi di riferimento degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' nella terza posizione angolare pos3 ed il sistema di riferimento del bersaglio di riferimento 60, determinando l'orientamento dello stesso bersaglio di riferimento 60 mediante l'acquisizione e l'elaborazione delle immagini riprese dagli elementi di acquisizione di immagini 8, 8'.

Inoltre, dato che la relazione tra il sistema di riferimento del bersaglio di riferimento 60 e quello del dispositivo di rilevamento 7a è nota (per ragioni costruttive e di progetto), al termine di tale fase risulta inoltre definita la relazione tra il sistema di riferimento degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' nella suddetta terza posizione angolare pos3 ed il sistema di riferimento del dispositivo di rilevamento 7a.

Per generici valori delle rotazioni angolari  $\theta_{\text{fi}}$  e  $\theta_{\text{ri}}$ , sarà sufficiente mettere in relazione i sistemi di riferimento degli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' con i corrispondenti sistemi di riferimento assunti in

corrispondenza dell'angolo di rotazione  $\theta_{f3}$ ,  $\theta_{r3}$  (che a sua volta è stato messo in relazione con il sistema di riferimento del dispositivo di rilevamento 7a).

In dettaglio, si veda anche la figura 9c, la rotazione subita dal primo elemento di acquisizione di immagini 8 (disposto in posizione frontale) può essere descritta mediante la definizione della matrice di rotazione  $\text{matRot}_{f(3-1)}$  funzione di:  $(-\theta_{f3}, A_{yf})$ ; mentre la sua traslazione può essere espressa, con evidenti considerazioni geometriche, come:

$$\text{tras}_{f(3-1)} = \{0, 0, R_f\} * \text{matRot}_{f(3-1)} - \{0, 0, R_f\}$$

Analogamente, la rotazione subita dal secondo elemento di acquisizione di immagini 8' (disposto in posizione posteriore) può essere descritta mediante la definizione della matrice di rotazione  $\text{matRot}_{r(3-1)}$  funzione di:  $(-\theta_{r3}, A_{yr})$ ; così come la sua traslazione può essere espressa come:

$$\text{tras}_{r(3-1)} = \{0, 0, R_r\} * \text{matRot}_{r(3-1)} - \{0, 0, R_r\}$$

Inoltre, avendo misurato il bersaglio di riferimento 60 utilizzando entrambi gli elementi di acquisizione di immagini 8, 8', risulta possibile definire la matrice  $\text{matRot}_{r-f(3)}$  che definisce la rotazione tra un elemento di acquisizione di immagini e l'altro nella terza posizione angolare  $\text{pos3}$ , ed il vettore di traslazione  $\text{tras}_{r-f(3)}$  che lega le origini dei due elementi di acquisizione di

immagini 8, 8' (ovvero le posizione dei relativi assi di rotazione  $A_{yf}$ ,  $A_{yr}$ ); tutto ciò definisce la relazione tra il sistema di riferimento del primo e del secondo elemento di acquisizione di immagini 8, 8' nella terza posizione angolare pos3.

La procedura di calibrazione si completa definendo la matrice di rotazione:

$$\text{matRot}_{r-f(1)} = \text{matRot}_{r(1-3)} * \text{matRot}_{r-f(3)} * \text{matRot}_{f(3-1)}$$

ed il vettore di traslazione:

$$\text{tras}_{r-f(1)} = \text{tras}_{r(1-3)} + \text{tras}_{r-f(3)} + \text{tras}_{f(3-1)}$$

che descrivono la funzione di roto-traslazione utilizzata per convertire i vettori misurati dal secondo elemento di acquisizione di immagini 8' (posteriore) nel sistema di riferimento definito dal primo elemento di acquisizione di immagini 8 (anteriore), quando entrambi gli elementi di acquisizione di immagini 8, 8' si trovano nella prima posizione angolare pos1.

Durante le fasi di misura, successive alla fase di calibrazione precedentemente descritta, per valori differenti delle rotazioni angolari  $\theta_{fi}$  e  $\theta_{ri}$ , sarà sufficiente applicare, per entrambi gli elementi di acquisizione di immagini 8, 8', ulteriori matrici di rototraslazione, che saranno funzione degli specifici angoli di rotazione di volta in volta misurati ( $\theta_{fi} - \theta_1$ ;  $\theta_{ri} - \theta_1$ ) e degli assi di rotazione  $A_{yf}$  e  $A_{yr}$ ; in altre

parole, sarà sufficiente utilizzare opportuni fattori correttivi basati sui parametri di calibrazione memorizzati durante la procedura preliminare di calibrazione e sui valori correnti misurati.

Inoltre, sempre durante le fasi di misura, gli assi di rotazione  $A_{yf}$  e  $A_{yr}$ , ortogonali al piano orizzontale ( $z_{tel}x_{tel}$ ) di ciascun elemento di acquisizione di immagini 8, 8' (calcolati in calibrazione quando i valori di inclinazione restituiti dall'inclinometro 27 e dal primo sensore di immagine 28a sono nulli, a meno di un fattore trascurabile  $\varepsilon$ ) saranno corretti ruotando attorno all'asse  $z_{sns}$  e  $x_{sns}$  dei valori di inclinazione correnti letti dagli elementi di misura 27a, 27b dell'inclinometro 27, ed attorno all'asse  $y_{sns}$  dell'angolo letto dal primo sensore di immagine 28a. Anche le stesse matrici di rototraslazione (funzioni delle rotazioni angolari  $\theta_{fi}$  e  $\theta_{ri}$  e delle posizioni degli assi di rotazione  $A_{yf}$  e  $A_{yr}$ ) individuate in calibrazione con lo stesso presupposto per i valori, sostanzialmente nulli, delle misure angolari, verranno opportunamente corrette, in maniera di per sé evidente, con i valori correnti letti dai suddetti sensori.

I vantaggi del sistema di determinazione dell'allineamento delle ruote di un veicolo secondo l'invenzione emergono in maniera evidente dalla descrizione precedente.

In particolare, la configurazione dei dispositivi di rilevamento 7a, 7b consente di misurare le caratteristiche di allineamento di veicoli 3 anche disposti in maniera asimmetrica sul ponte sollevatore 4, e con misure di passo e/o carreggiata anche molto differenti tra loro. Infatti, la presenza dell'unità di movimentazione 10 associata agli elementi di acquisizione di immagine 8, 8' consente di adattare automaticamente e dinamicamente l'area di visione degli stessi elementi di acquisizione di immagine 8, 8' in modo tale da inquadrare i bersagli 5 associati alle ruote 2 del veicolo 3, in funzione del posizionamento dello stesso veicolo 3 sul ponte sollevatore 4. In particolare, risulta possibile garantire di inquadrare i bersagli 5, e di riuscire a distinguere gli elementi del bersagli stessi, a partire dalla distanza più breve fino alla massima distanza prevista tra la posizione fissa dei dispositivi di rilevamento 7a, 7b e la posizione variabile delle ruote 2, continuando a mantenere l'inquadratura anche durante sterzate importanti delle stesse ruote 2 (ad esempio con angoli di sterzata pari a  $47^\circ$ ).

La presenza di opportuni elementi sensori di allineamento (inclinometri e sensori di immagine) a bordo di ciascun dispositivo di rilevamento 7a, 7b consente di mettere in relazione tra loro le misure effettuate dai dispositivi di rilevamento 7a, 7b in maniera dinamica,

durante l'esecuzione delle misure (consentendo, tra l'altro di compensare eventuali deformazioni del ponte sollevatore 4). In particolare, vantaggiosamente, non sono richieste ulteriori operazioni di taratura durante le, o preliminarmente alle, operazioni di misura, in quanto la procedura di calibrazione è stata già eseguita in fase di fabbricazione e/o installazione dei dispositivi di rilevamento e dell'associato sistema. Durante la fase di misura, è sufficiente applicare opportuni fattori correttivi in funzione delle rotazioni eseguite dagli elementi di acquisizione di immagine 8, 8' e dei parametri di calibrazione memorizzati.

Le dimensioni esterne dell'involucro 22 dei dispositivi di rilevamento 7a, 7b risultano vantaggiosamente limitate (grazie alla particolare disposizione dei componenti, ed in particolare alla disposizione degli ingranaggi al di sotto del supporto di base 16 ed alla limitata complessità degli stessi), con un ingombro che non rappresenta un ostacolo durante l'esecuzione delle procedure operative di misura. La parte superiore dell'involucro 22 non ostacola l'apertura delle portiere anche per veicoli 3 con un pianale avente un'altezza ridotta dal piano di appoggio, mentre le dimensioni trasversali non costituiscono un ostacolo nello spazio di lavoro in cui si effettuano le procedure di

misura. Inoltre, le modalità di aggancio e sgancio degli stessi dispositivi di rilevamento 7a, 7b rispetto al ponte sollevatore 4 risultano semplici e veloci da eseguire.

Come del resto evidenziato nella suddetta domanda di brevetto ITTO20100377, si sottolinea nuovamente che l'utilizzo di bersagli 5 tridimensionali (in particolare costituiti da una configurazione tridimensionale di elementi di bersaglio), ed in particolare l'utilizzo di elementi di bersaglio 5' anch'essi tridimensionali, consente di determinare la posizione e l'orientamento assoluti di ciascun bersaglio (e della ruota 2 a cui lo stesso bersaglio è accoppiato), rispetto ad un sistema di riferimento fisso, in maniera precisa e sicura utilizzando un unico elemento di cattura immagini, senza che risulti necessario muovere il veicolo o le ruote del veicolo stesso per determinare la collocazione spaziale dei bersagli (ad esempio muovere il veicolo in avanti ed all'indietro, cosiddetta operazione di "run-out"), spostare i bersagli, o ricorrere all'utilizzo di un sistema di acquisizione stereo. Infatti, risulta agevole determinare nello spazio una terna di assi ortogonali associata a ciascun bersaglio 5 (individuandone elementi di bersaglio di riferimento 5'), ed in tal modo determinare l'orientamento spaziale dello stesso bersaglio all'interno di un dato sistema di riferimento. In altre parole, vantaggiosamente, al bersaglio è associata intrinsecamente un'informazione

tridimensionale, tramite la quale risulta possibile determinarne l'orientamento spaziale a partire dall'elaborazione anche di una sola immagine bidimensionale (trasformando, grazie alla particolare struttura geometrica del bersaglio, le informazioni bidimensionali fornite dal dispositivo di cattura immagini in informazioni tridimensionali).

In particolare, grazie all'utilizzo di elementi di bersaglio tridimensionali con caratteristiche di isotropia, di forma sferica, l'accuratezza della misura si mantiene invariata al variare dell'inclinazione dei bersagli rispetto al sistema di riferimento immagine degli elementi di cattura di immagini 8, 8'. La simmetria strutturale sferica dei bersagli 5 utilizzati consente inoltre di riuscire a restituire i valori angolari per interpolazione anche quando alcuni elementi di bersaglio 5', che ne costituiscono la struttura, risultino parzialmente coperti.

Risulta infine chiaro che a quanto qui descritto ed illustrato possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito di protezione della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

In particolare, si sottolinea nuovamente che i dispositivi di rilevamento 7a, 7b possono essere disposti lateralmente al ponte sollevatore 4, ed al veicolo 3 da caratterizzare, senza essere disposti a contatto dello

stesso ponte sollevatore 4 (ad esempio essendo portati da rispettive strutture di posizionamento, fisse, non illustrate nelle figure).

In generale, è evidente che i bersagli 5 possono avere una differente conformazione tridimensionale, comunque tale da consentire la definizione di grandezze vettoriali disposte secondo una disposizione tridimensionale nota, in particolare in modo da consentire l'individuazione di una terna di assi ortogonali ad essi associata (ad esempio mediante l'individuazione di punti o piani significativi sui bersagli stessi), preferibilmente sotto differenti angoli di visuale (ad esempio in un intervallo angolare compreso tra  $-30^\circ$  e  $+30^\circ$ ).

Uno o più dei bersagli 5 possono inoltre essere sostituiti da bersagli di tipo attivo, costituiti cioè da elementi di bersaglio che, anziché riflettere una radiazione incidente, sono in grado essi stessi di generare ed emettere una radiazione elettromagnetica, nel campo delle frequenze visibili, o, in alternativa, nel campo degli infrarossi.

Infine, in maniera evidente, il sistema ed il metodo descritti consentono la determinazione dell'orientamento spaziale anche di una singola coppia di ruote 2 del veicolo 3 (disposte sullo stesso lato rispetto all'asse longitudinale A), la cui immagine viene ripresa da un singolo dispositivo di rilevamento 7a o 7b.

## RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo di rilevamento (7a, 7b), per un sistema (1) di determinazione dell'orientamento di almeno una prima e una seconda ruota (2) di un veicolo (3) disposte su un primo lato di detto veicolo (3) rispetto ad un suo asse longitudinale (A), configurato in modo da essere disposto lateralmente rispetto a detto veicolo (3) su detto primo lato rispetto a detto asse longitudinale (A), in posizione interposta tra dette prima e seconda ruota, ed includente un primo (8) ed un secondo (8') elemento di acquisizione di immagini configurati in modo da acquisire immagini rispettivamente di un primo e di un secondo bersaglio (5), accoppiati rispettivamente a dette prima e seconda ruota,

caratterizzato dal fatto che detto dispositivo di rilevamento (7a, 7b) comprende un'unità di movimentazione (10), operativamente accoppiata a detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini, ed azionabile per variarne un orientamento rispetto a detti primo e secondo bersaglio (5).

2. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, in cui detto primo dispositivo di rilevamento (7a) è configurato in modo da essere disposto in modo fisso rispetto a detto veicolo (3), e dette prima e seconda ruota (2) giacciono su un piano orizzontale; detta unità di movimentazione (10) essendo configurata per causare una rotazione di detti

primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini in detto piano orizzontale, in modo da adattarsi automaticamente e dinamicamente alla posizione di detti primo e secondo bersaglio (5).

3. Dispositivo secondo la rivendicazione 2, in cui detta unità di movimentazione (10) è configurata per causare una rotazione di detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini tale da consentire a detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini di inquadrare detti primo e secondo bersaglio (5) indipendentemente da uno spostamento di dette prima e seconda ruota (2) lungo, o trasversalmente a, detto asse longitudinale (A).

4. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta unità di movimentazione (10) comprende un motore (11) ed una coppia di ingranaggi (13, 14) accoppiati meccanicamente a detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini e azionati in rotazione da detto motore (11); detti ingranaggi (13, 14) essendo disposti in modo da ingranare tra loro, così da ruotare sostanzialmente di uno stesso angolo di rotazione in seguito all'azionamento da parte di detto motore (11).

5. Dispositivo secondo la rivendicazione 4, in cui detta unità di movimentazione (10) comprende un ingranaggio

motore (12), calettato su un albero di rotazione di detto motore (11) e disposto in modo da ingranare con un dato ingranaggio (13) di detta coppia, in modo da portarlo in rotazione.

6. Dispositivo secondo la rivendicazione 4 o 5, in cui gli ingranaggi (13, 14) di detta coppia sono a recupero di gioco, ciascun ingranaggio della coppia includendo una prima (18) ed una seconda (19) ruota dentata, accoppiate meccanicamente tra loro da un elemento di polarizzazione elastica (20), ed atte ad ingranare con una rispettiva ruota dentata dell'altro ingranaggio della coppia di ingranaggi; la deformazione di detto elemento di polarizzazione elastica (20) essendo tale da consentire il recupero di eventuali giochi associati a dette prima (18) e/o seconda (19) ruota dentata.

7. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 4-6, comprendente un involucro (22) all'interno del quale è disposto un supporto di base (16); detti ingranaggi (13, 14) essendo disposti su una superficie inferiore (16a) di detto supporto di base (16), e detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini essendo disposti su una superficie superiore (16b) di detto supporto di base (16), opposta a detta superficie inferiore (16a); in cui detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini sono

accoppiati rigidamente ad un rispettivo albero di rotazione (17) di un rispettivo di detti ingranaggi (13, 14).

8. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 4-7, comprendente inoltre una unità elettronica (30, 32, 34, 35), includente: un circuito di acquisizione ed elaborazione (30, 32), per l'acquisizione di dette immagini e l'esecuzione di una prima elaborazione di dette immagini, finalizzata ad individuare prefissati parametri geometrici di detti bersagli (5); ed un circuito di pilotaggio (35) di detto motore (11), atto a ricevere segnali di comando, e a comandare di conseguenza detto motore (11) per eseguire rotazioni desiderate di detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini, in funzione di detti segnali di comando.

9. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente un supporto di base (16) a cui sono accoppiati detti ingranaggi (13, 14) e detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini, e a cui è associato un primo sistema di riferimento dispositivo ( $x_{sns}$ ,  $y_{sns}$ ,  $z_{sns}$ ); in cui a detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini sono associati rispettivamente un primo ed un secondo sistema di riferimento immagine ( $x_{tel}$ ,  $y_{tel}$ ,  $z_{tel}$ ), all'interno dei quali detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini sono configurati in

modo da acquisire dette rispettive immagini; comprendente inoltre elementi sensori di allineamento (25, 27a, 27b, 28a, 28b) configurati in modo da consentire di mettere in relazione detti primo e secondo sistema di riferimento immagine tra loro, ed inoltre con detto sistema di riferimento dispositivo.

10. Dispositivo secondo la rivendicazione 9, in cui detti elementi sensori di allineamento includono: un rilevatore di angolo di rotazione (25), configurato in modo da consentire di rilevare un angolo di rotazione di detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini; almeno un inclinometro (27a, 27b), configurato in modo da consentire di rilevare rotazioni di detto primo dispositivo di rilevamento (7a) rispetto a detto piano orizzontale; ed almeno un sensore di immagine (28a, 28b), configurato in modo da inquadrare un dispositivo di riferimento (7b) e consentire di determinare una posizione reciproca di detto primo dispositivo di rilevamento (7a) rispetto a detto dispositivo di riferimento (7b).

11. Sistema (1) di determinazione dell'orientamento di almeno una prima e di una seconda ruota (2) di un veicolo (3) disposte su un primo lato di detto veicolo (3) rispetto ad un suo asse longitudinale (A), comprendente:

- un primo ed un secondo bersaglio (5), accoppiati rispettivamente a dette prima e seconda ruota (2);

- un primo dispositivo di rilevamento (7a), secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, disposto lateralmente rispetto a detto veicolo (3) su detto primo lato rispetto a detto asse longitudinale (A), in posizione interposta tra dette prima e seconda ruota; ed

- un dispositivo di elaborazione (9), operativamente accoppiato a detto primo dispositivo di rilevamento (7a) e configurato in modo da determinare detto orientamento di dette prima e seconda ruota (2), in funzione di dette immagini.

12. Sistema secondo la rivendicazione 11, in cui detto dispositivo di elaborazione (9) è configurato in modo da generare, sulla base dell'elaborazione di dette immagini, segnali di comando per detta unità di movimentazione (10) di detto primo dispositivo di rilevamento (7a), in modo da ruotare detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini per adattarsi automaticamente e dinamicamente alla posizione di dette prima e seconda ruota (2) e degli associati primo e secondo bersaglio (5).

13. Sistema secondo la rivendicazione 11 o 12, quando dipendenti dalla rivendicazione 9 o 10, in cui detto dispositivo di elaborazione (9) è configurato in modo da ricevere misure da detti elementi sensori di allineamento (25, 27a, 27b, 28a, 28b), ed elaborare dette misure per mettere in relazione detti primo e secondo sistema di

riferimento immagine tra loro, ed inoltre con detto primo sistema di riferimento dispositivo, in funzione di parametri di calibrazione memorizzati in una memoria (44a, 47a, 49) di detto dispositivo di elaborazione (9).

14. Sistema secondo la rivendicazione 13, comprendente inoltre: un secondo dispositivo di rilevamento (7b), secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-10, disposto lateralmente rispetto a detto veicolo (3) su un secondo lato di detto veicolo (3), opposto a detto primo lato rispetto a detto asse longitudinale (A), in posizione interposta tra una terza ed una quarta ruota (2) di detto veicolo disposte su detto secondo lato; ed un terzo ed un quarto bersaglio (5), accoppiati rispettivamente a dette terza e quarta ruota (2), detto secondo dispositivo di rilevamento (7b) essendo configurato in modo da acquisire immagini di detti terzo e quarto bersaglio (5); in cui detto dispositivo di elaborazione (9) è operativamente accoppiato a detti primo (7a) e secondo (7b) dispositivo di rilevamento ed è configurato in modo da determinare, in funzione di dette immagini, detto orientamento ed un allineamento reciproco, di dette prima, seconda, terza e quarta ruota (2); detto dispositivo di elaborazione (9) essendo inoltre configurato in modo da mettere in relazione, in funzione di dette misure e di detti parametri di calibrazione, detto primo sistema di riferimento

dispositivo con un secondo sistema di riferimento dispositivo ( $x_{sns}$ ,  $y_{sns}$ ,  $z_{sns}$ ), associato a detto secondo dispositivo di rilevamento (7b), e detti primo e secondo sistema di riferimento dispositivo con un sistema di riferimento unico, associato a detto veicolo (3), in cui sono elaborate le informazioni di orientamento ed allineamento reciproco di dette ruote (2).

15. Sistema secondo la rivendicazione 14, in cui detti elementi sensori di allineamento includono: almeno un sensore di immagine (28a, 28b), configurato in modo da inquadrare un rispettivo sensore di immagine (28a, 28b) di detto secondo dispositivo di rilevamento (7b); detto dispositivo di elaborazione (9) essendo configurato per elaborare misure eseguite dai sensori di immagine (28a, 28b) di detti primo (7a) e secondo (7b) dispositivo di rilevamento, per determinare una posizione relativa di detto primo dispositivo di rilevamento (7a) rispetto a detto secondo dispositivo di rilevamento (7b).

16. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 11-15, in cui detto veicolo (3) è disposto su un ponte sollevatore (4), e detto primo dispositivo di rilevamento (7a) è rigidamente fissato a detto ponte sollevatore (4), lateralmente rispetto a detto veicolo (3).

17. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 11-16, in cui detti primo e secondo bersaglio (5)

presentano una conformazione tridimensionale atta a definire grandezze geometriche disposte secondo una disposizione tridimensionale nota, e comprendono, ciascuno, una pluralità di elementi di bersaglio (5; 5'), aventi conformazione tridimensionale, disposti reciprocamente secondo una distribuzione tridimensionale, almeno alcuni di essi in posizioni legate reciprocamente da una relazione geometrica nota, tale da definire dette grandezze geometriche.

18. Sistema secondo la rivendicazione 17, in cui detti elementi di bersaglio (5; 5') sono disposti reciprocamente secondo una distribuzione tridimensionale atta a definire una terna ortogonale di vettori bersaglio definente un sistema di riferimento ( $x_{trg}$ ,  $y_{trg}$ ,  $z_{trg}$ ) associato a detto primo o secondo bersaglio (5).

19. Sistema secondo la rivendicazione 17 o 18, in cui detti primo e secondo bersaglio (5) comprendono una rispettiva struttura di supporto (S) definente internamente una superficie sferica concava; ed in cui detti elementi di bersaglio (5, 5') sono accoppiati meccanicamente a detta struttura di supporto (S) e disposti su detta superficie sferica, a formare detta distribuzione tridimensionale.

20. Metodo di calibrazione di un dispositivo di rilevamento (7a, 7b) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-10, comprendente le fasi di:

- definire un modello di spostamento per ciascuno di detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini durante la movimentazione da parte di detta unità di movimentazione (10);

- definire una relazione tra rispettivi sistemi di riferimento immagine ( $x_{tel}$ ,  $y_{tel}$ ,  $z_{tel}$ ) associati a detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini, rispetto ad un sistema di riferimento dispositivo ( $x_{sns}$ ,  $y_{sns}$ ,  $z_{sns}$ ) associato a detto dispositivo di rilevamento (7a, 7b); e

- memorizzare una serie di parametri di calibrazione associati a detti modelli di spostamento e a detta relazione tra i rispettivi sistemi di riferimento immagine ( $x_{tel}$ ,  $y_{tel}$ ,  $z_{tel}$ ),

detta fase di definire una relazione comprendendo: posizionare detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini in posizioni angolari prefissate, ed inoltre fare in modo che detti primo (8) e secondo (8') elemento di acquisizione di immagini inquadrino uno stesso bersaglio di riferimento (60) avente una conformazione prefissata ed una prefissata relazione geometrica rispetto a detto dispositivo di rilevamento (7a, 7b).

p.i.: SPACE S.R.L. CON UNICO SOCIO

**Lorenzo NANNUCCI**

**Lorenzo NANNUCCI**  
(Iscrizione Albo nr. 1214/B)

CLAIMS

1. A detection device (7a, 7b), for a system (1) for determining the orientation of at least a first and a second wheel (2) of a vehicle (3) arranged on a first side of said vehicle (3) with respect to its longitudinal axis (A), configured to be placed laterally with respect to said vehicle (3) on said first side with respect to said longitudinal axis (A), in a position between said first and second wheels, and including a first (8) and a second (8') image acquisition element configured to acquire images of a first and, respectively, a second target (5), connected to said first and, respectively, second wheel,

characterized by comprising a displacement unit (10), operatively coupled to said first (8) and second (8') image acquisition elements, and operable to modify an orientation thereof with respect to said first and second target (5).

2. The device according to claim 1, wherein said detection device (7a) is configured to be arranged in a fixed manner with respect to said vehicle (3), and said first and second wheel (2) lie on a horizontal plane; said displacement unit (10) being configured to cause a rotation of said first (8) and second (8') image acquisition elements in said horizontal plane, so as to automatically and dynamically adapt to the position of

said first and second target (5).

3. The device according to claim 2, wherein said displacement unit (10) is configured to cause a rotation of said first (8) and second (8') image acquisition elements such as to enable said first (8) and second (8') image acquisition elements to view said first and second target (5) independently of a displacement of said first and second wheel (2) along, or transversal to, said longitudinal axis (A).

4. The device according to any of the previous claims, wherein said displacement unit (10) comprises a motor (11) and a pair of gears (13, 14) mechanically connected to said first (8) and second (8') image acquisition elements and driven in rotation by said motor (11); said gears (13, 14) being arranged to engage with each other, so as to substantially rotate by the same angle of rotation upon being driven by said motor (11).

5. The device according to claim 4, wherein said displacement unit (10) comprises a drive gear (12), fitted on a rotational shaft of said motor (11) and arranged to engage with a given gear (13) of said pair, so as to cause its rotation.

6. The device according to claim 4 or 5, wherein the gears (13, 14) of said pair have play compensation, each gear of the pair including a first (18) and a second (19)

cogwheels, mechanically connected to each other by an elastic biasing element (20), and designed to engage with a respective cogwheel of the other gear of the pair of gears; the deformation of said elastic biasing element (20) being such as to enable any play associated with said first (18) and/or second (19) cogwheel to be compensated.

7. The device according to any of claims 4-6, comprising a casing (22) inside which a base support (16) is arranged, said gears (13, 14) being arranged on a lower surface (16a) of said base support (16) and said first (8) and second (8') image acquisition elements being arranged on an upper surface (16b) of said base support (16), opposite to said lower surface (16a); wherein said first (8) and second (8') image acquisition elements are rigidly coupled to a respective rotational shaft (17) of a respective one of said gears (13, 14).

8. The device according to any of claims 4-7, further comprising an electronic unit (30, 32, 34, 35), including: an acquisition and processing circuit (30, 32) for the acquisition of said images and the execution of a first processing of said images, aimed at identifying given geometric parameters of said targets (5); and a driver circuit (35) for driving said motor (11), designed to receive control signals and consequently control said motor (11) to carry out the desired rotations of said

first (8) and second (8') image acquisition elements, based on said control signals.

9. The device according to any of the previous claims, comprising a base support (16) to which said gears (13, 14) and said first (8) and second (8') image acquisition elements are coupled, and to which a first device reference system  $(x_{sns}, y_{sns}, z_{sns})$  is associated; wherein a first and a second image reference systems  $(x_{tel}, y_{tel}, z_{tel})$ , inside which said first (8) and second (8') image acquisition elements are configured to acquire said respective images, are respectively associated with said first (8) and second (8') image acquisition elements; and further comprising alignment sensor elements (25, 27a, 27b, 28a, 28b) configured to enable the establishing of a relationship between said first and second image reference systems, and also with said device reference system.

10. The device according to claim 9, wherein said alignment sensor elements include: a rotation angle detector (25), configured to enable detection of an angle of rotation of said first (8) and second (8') image acquisition elements; at least one inclinometer (27a, 27b) configured to enable detection of rotations of said detection device (7a) with respect to said horizontal plane; and at least one image sensor (28a, 28b) configured to view a reference device (7b) and enable a reciprocal

position of said detection device (7a) with respect to said reference device (7b) to be determined.

11. A system (1) for determining the orientation of at least a first and a second wheel (2) of a vehicle (3) arranged on a first side of said vehicle (3) with respect to its longitudinal axis (A), comprising:

- a first and a second target (5), respectively coupled to said first and second wheel (2);

- a first detection device (7a), according to any of the previous claims, arranged laterally with respect to said vehicle (3) on said first side with respect to said longitudinal axis (A), in a position between said first and second wheels; and

- a processing device (9), operatively coupled to said first detection device (7a) and configured to determine said orientation of said first and second wheels (2), based on said images.

12. The system according to claim 11, wherein said processing device (9) is configured to generate control signals for said displacement unit (10) of said first detection device (7a) on the basis of processing of said images, so as to rotate said first (8) and second (8') image acquisition elements to automatically and dynamically adapt to the position of said first and second wheels (2) and of the associated first and second targets

(5).

13. The system according to claim 11 or 12, when dependent on claim 9 or 10, wherein said processing device (9) is configured to receive measurements from said alignment sensor elements (25, 27a, 27b, 28a, 28b) and to process said measurements to establish a relationship between said first and second image reference system, and also with said first device reference system, as a function of calibration parameters stored in a memory (44a, 47a, 49) of said processing device (9).

14. The system according to claim 13, further comprising: a second detection device (7b) according to any of claims 1-10, arranged laterally with respect to said vehicle (3) on a second side of said vehicle (3), opposite to said first side with respect to said longitudinal axis (A), in a position between a third and a fourth wheel (2) of said vehicle arranged on said second side; and a third and a fourth target (5), respectively coupled to said third and fourth wheel (2), said second detection device (7b) being configured to acquire images of said third and fourth targets (5); wherein said processing device (9) is operatively coupled to said first (7a) and second (7b) detection devices and is configured to determine said orientation and a reciprocal alignment of said first, second, third and fourth wheels (2) based

on said images; said processing device (9) being further configured to establish a relationship, as a function of said measurements and said calibration parameters, between said first device reference system and a second device reference system  $(x_{\text{sns}}, y_{\text{sns}}, z_{\text{sns}})$ , associated with said second detection device (7b), and between said first and second device reference systems and a single reference system, associated with said vehicle (3), wherein the orientation and reciprocal alignment information of said wheels (2) are processed.

15. The system according to claim 14, wherein said alignment sensor elements include: at least one image sensor (28a, 28b) configured to view a respective image sensor (28a, 28b) of said second detection device (7b); said processing device (9) being configured to process measurements taken by the image sensors (28a, 28b) of said first (7a) and second (7b) detection devices, to determine a relative position of said first detection device (7a) with respect to said second detection device (7b).

16. The system according to any of claims 11-15, wherein said vehicle (3) is placed on an auto lift (4), and said first detection device (7a) is rigidly fixed to said auto lift (4), laterally with respect to said vehicle (3).

17. The system according to any of claims 11-16,

wherein said first and second target (5) have a three-dimensional shape suitable for defining geometric quantities arranged according to a known three-dimensional layout, and each one comprises a plurality of target elements (5, 5') having a three-dimensional shape, reciprocally arranged according to a three-dimensional distribution, at least some of the target elements being in positions reciprocally linked by a known geometric relationship, such as to define said geometric quantities.

18. The system according to claim 17, wherein said target elements (5, 5') are reciprocally arranged according to a three-dimensional distribution suitable for defining an orthogonal set of three target vectors defining a reference system ( $x_{trg}$ ,  $y_{trg}$ ,  $z_{trg}$ ) associated with said first or second target (5).

19. The system according to claim 17 or 18, wherein said first and second target (5) comprise a respective support structure (S) internally defining a concave spherical surface, and wherein said target elements (5, 5') are mechanically coupled to said support structure (S) and arranged on said spherical surface to form said three-dimensional distribution.

20. A calibration method for a detection device (7a, 7b) according to any of claims 1-10, comprising the steps of:

- defining a displacement model for each of said first (8) and second (8') image acquisition elements during displacement by said displacement unit (10),

- defining a relationship between the respective image reference systems  $(x_{tel}, y_{tel}, z_{tel})$  associated with said first (8) and second (8') image acquisition elements, with respect to a device reference system  $(x_{sns}, y_{sns}, z_{sns})$  associated with said detection device (7a, 7b), and

- storing a series of calibration parameters associated with said displacement models and with said relationship between the respective image reference systems  $(x_{tel}, y_{tel}, z_{tel})$ ,

said step of defining a relationship comprising: positioning said first (8) and second (8') image acquisition elements in set angular positions; and causing said first (8) and second (8') image acquisition elements to view a same reference target (60) having a set shape and a set geometric relationship with respect to said detection device (7a, 7b).

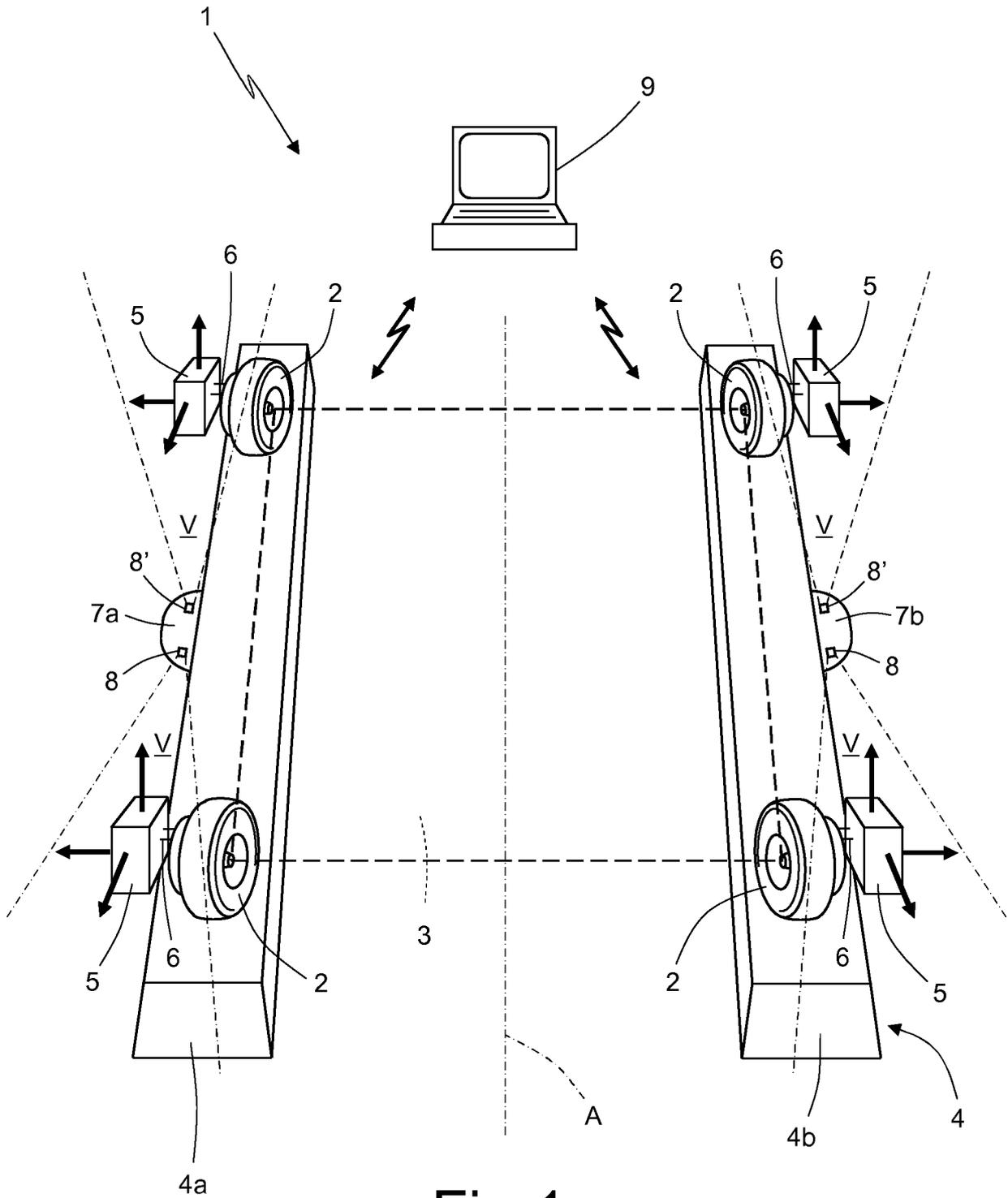


Fig.1

p.i.: SPACE S.R.L. CON UNICO SOCIO

Lorenzo NANNUCCI  
(Iscrizione Albo nr. 1214/B)

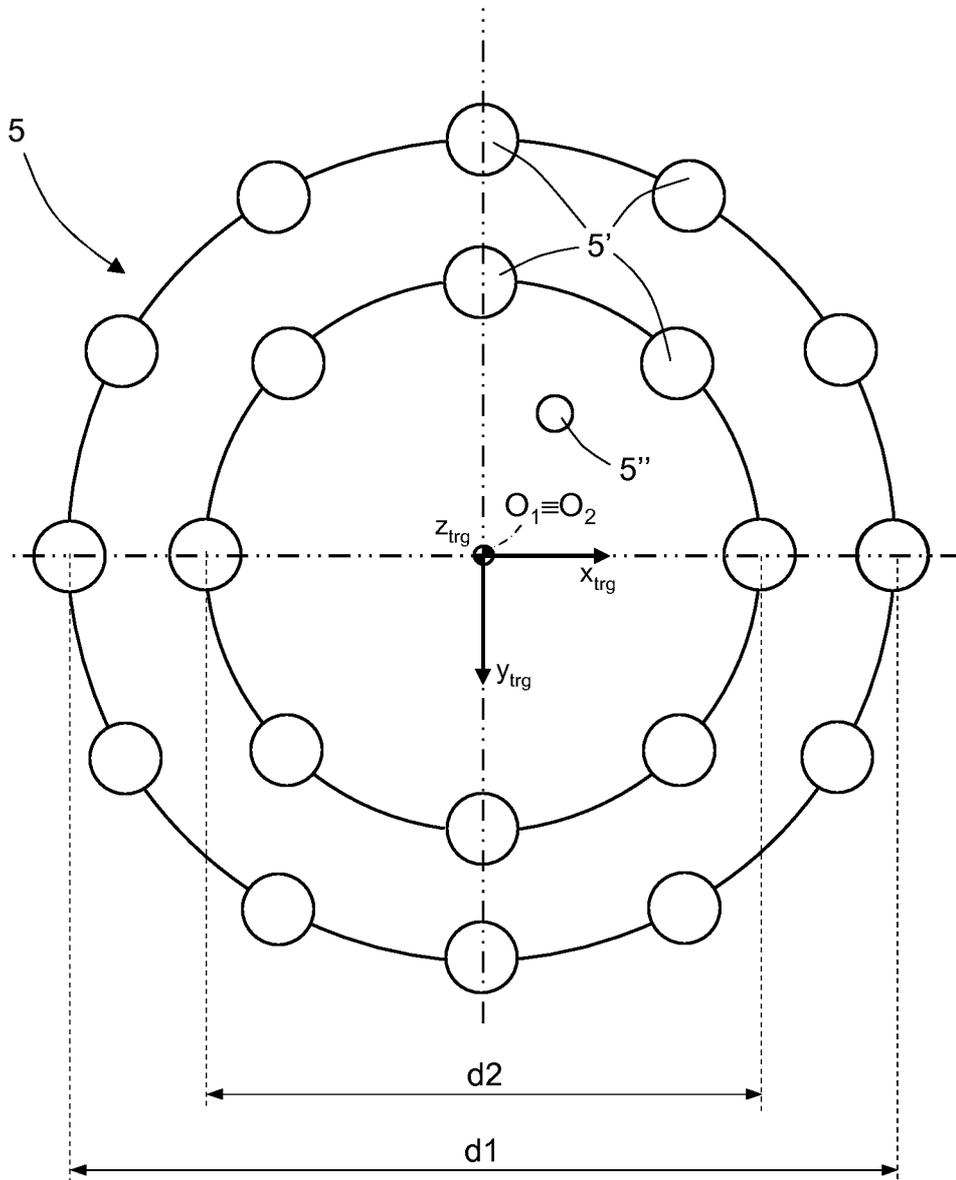


Fig.2a

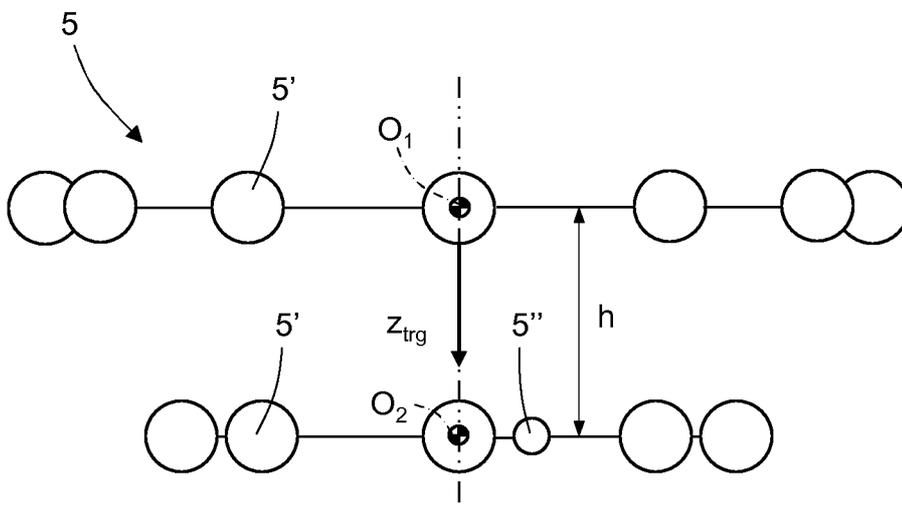


Fig.2b

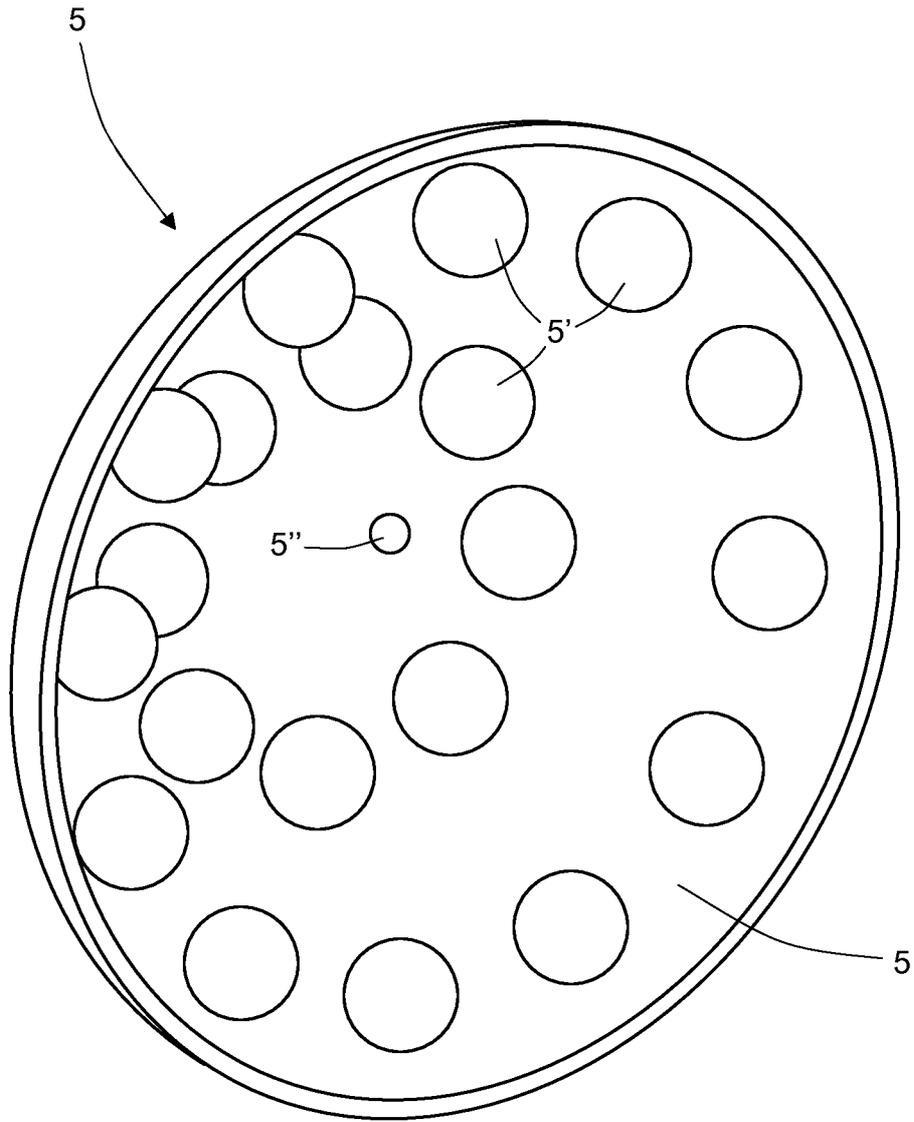
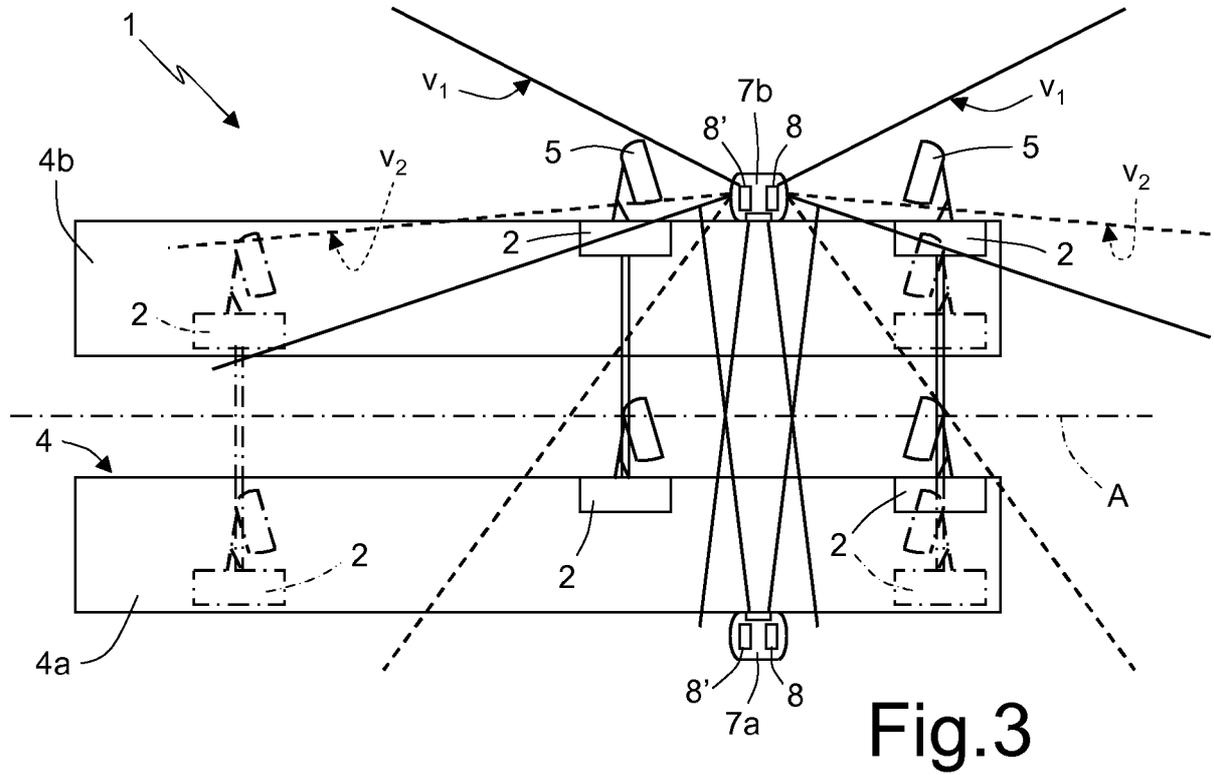
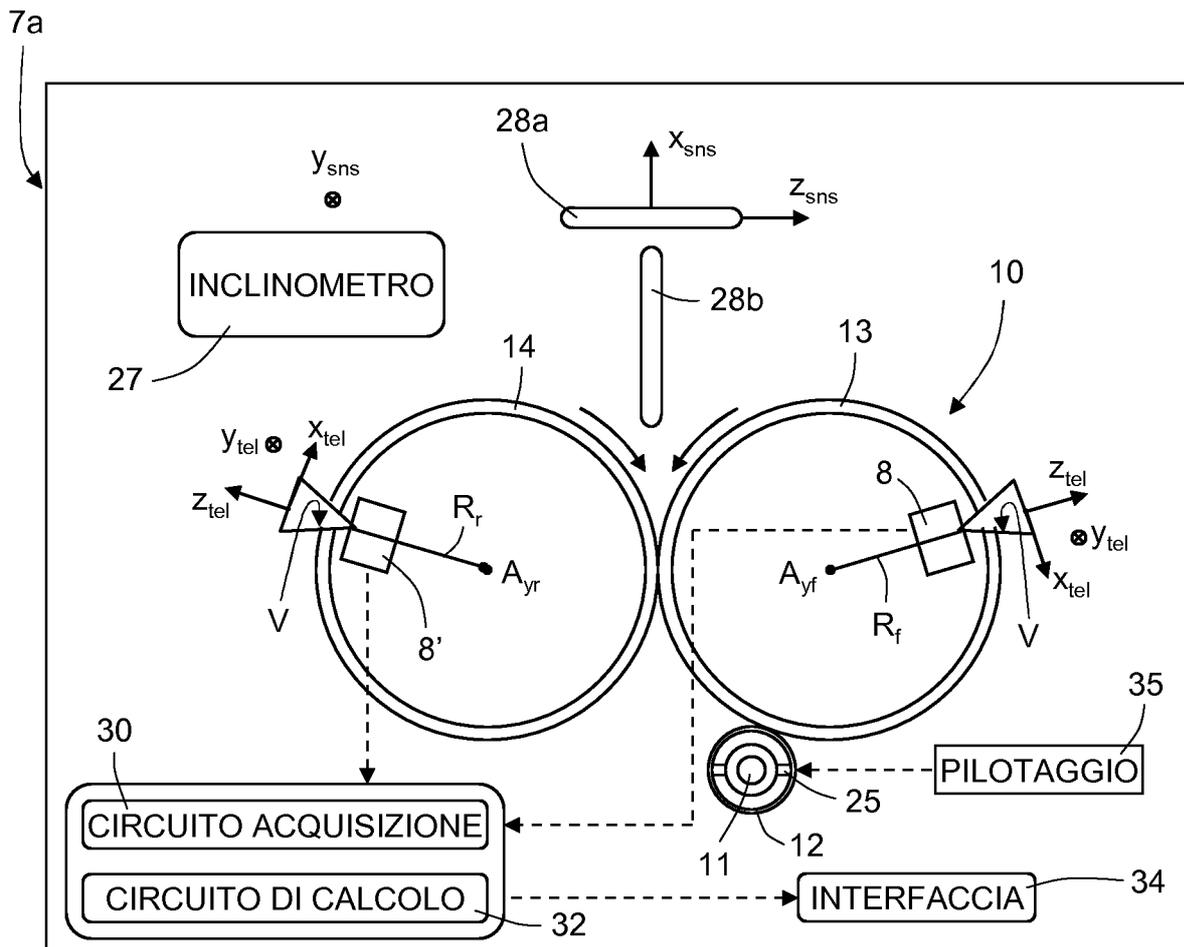


Fig.2c



**Fig.3**



**Fig.4**

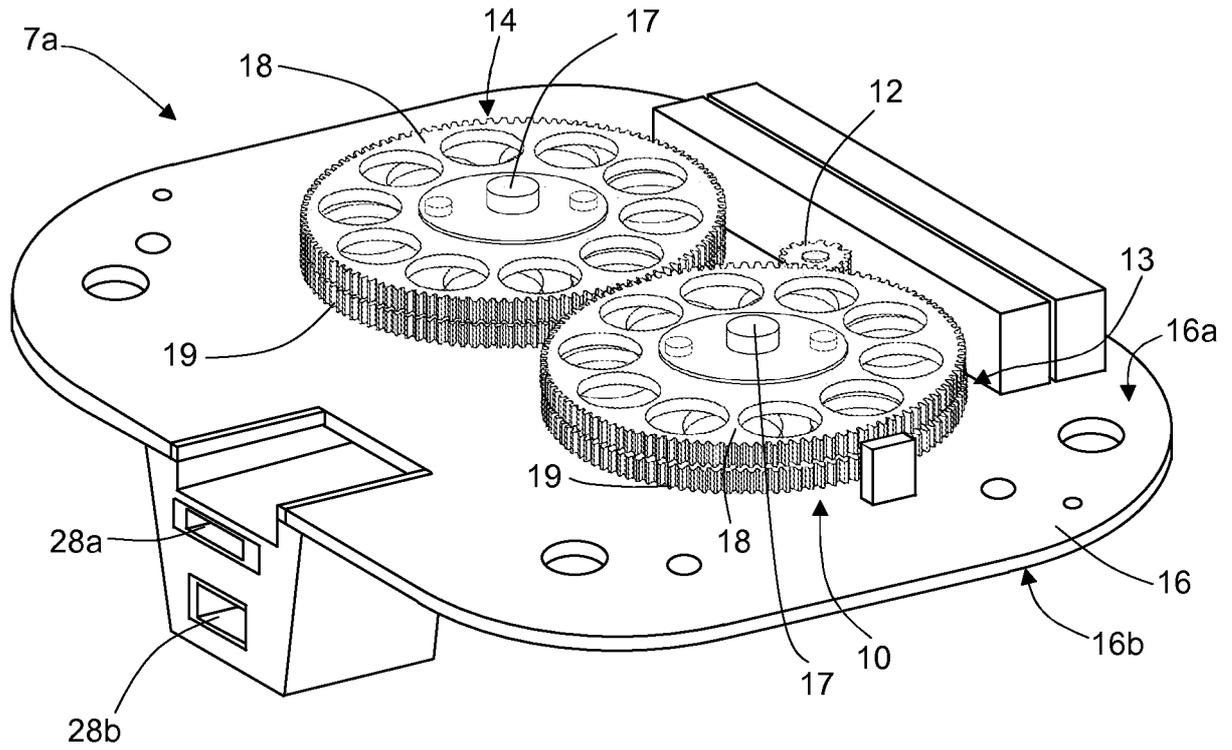


Fig.5a

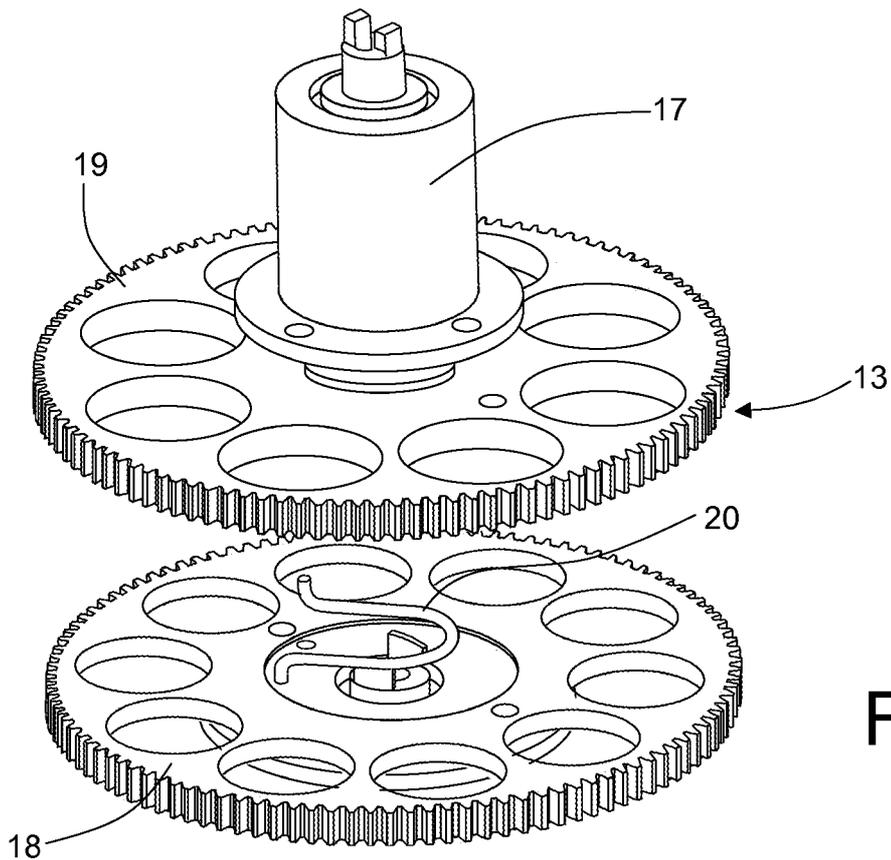


Fig.5b

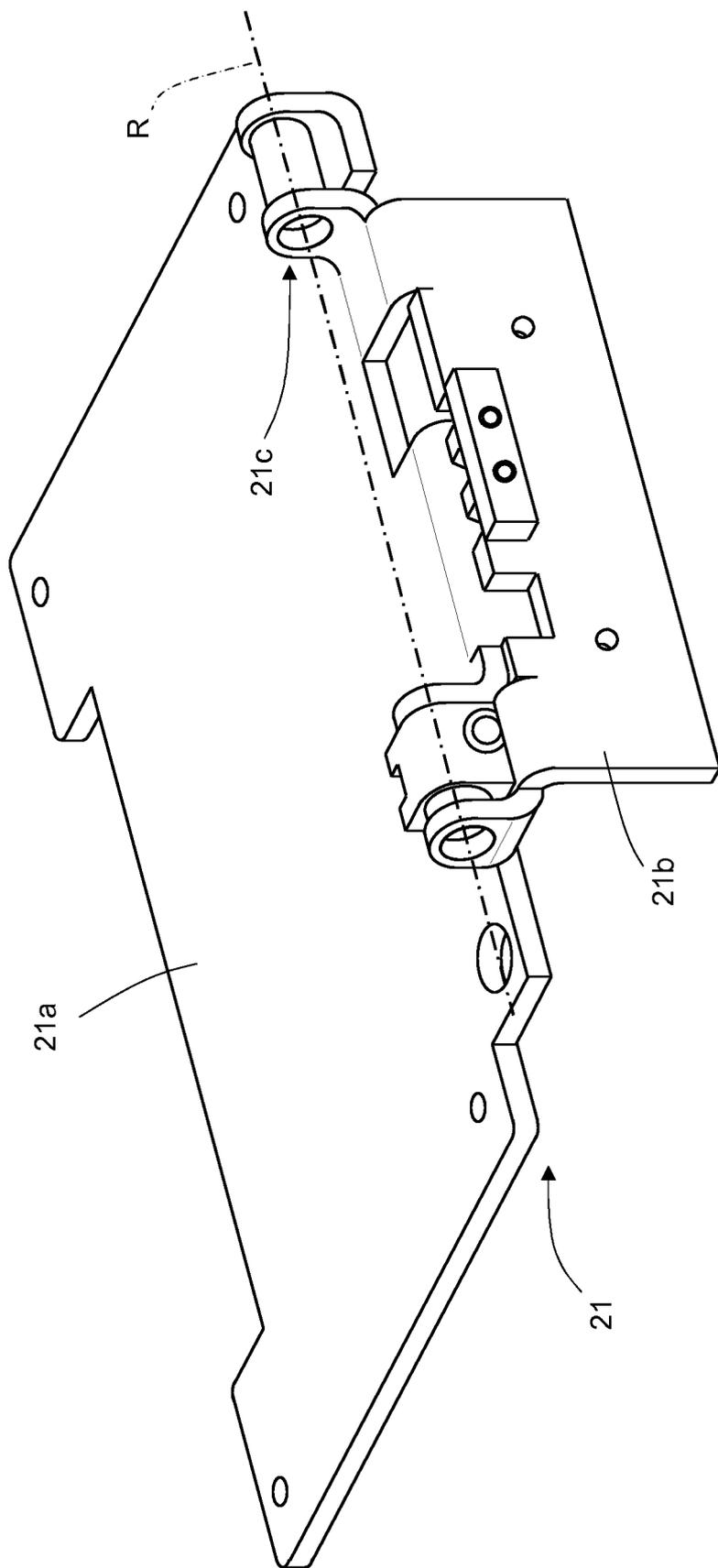


Fig. 5c

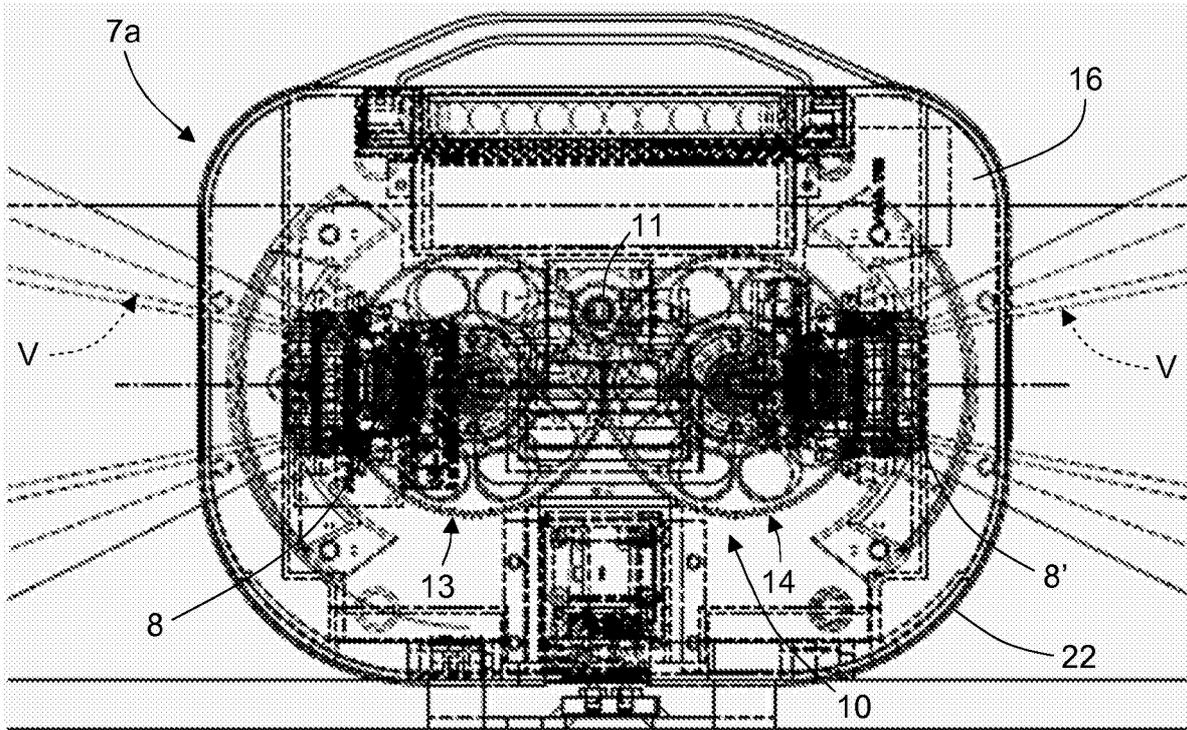


Fig.6a

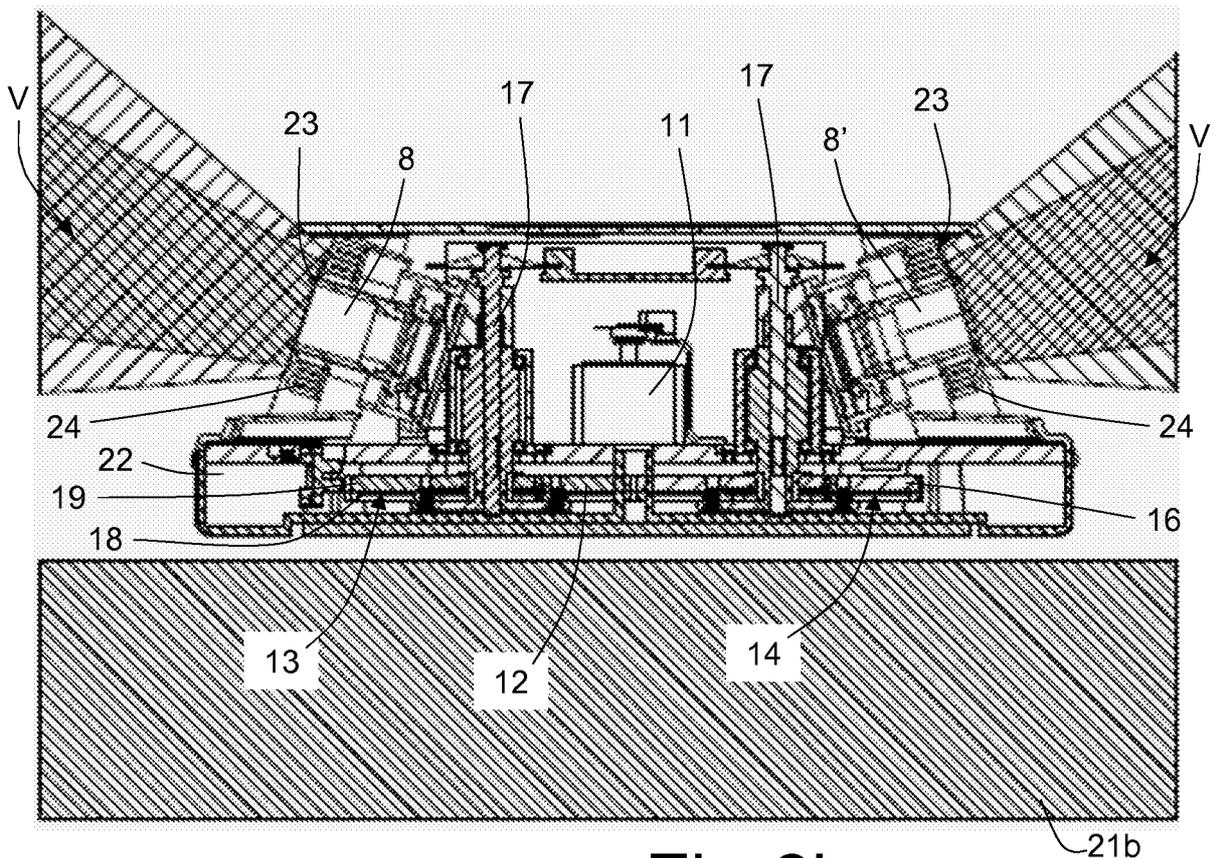


Fig.6b

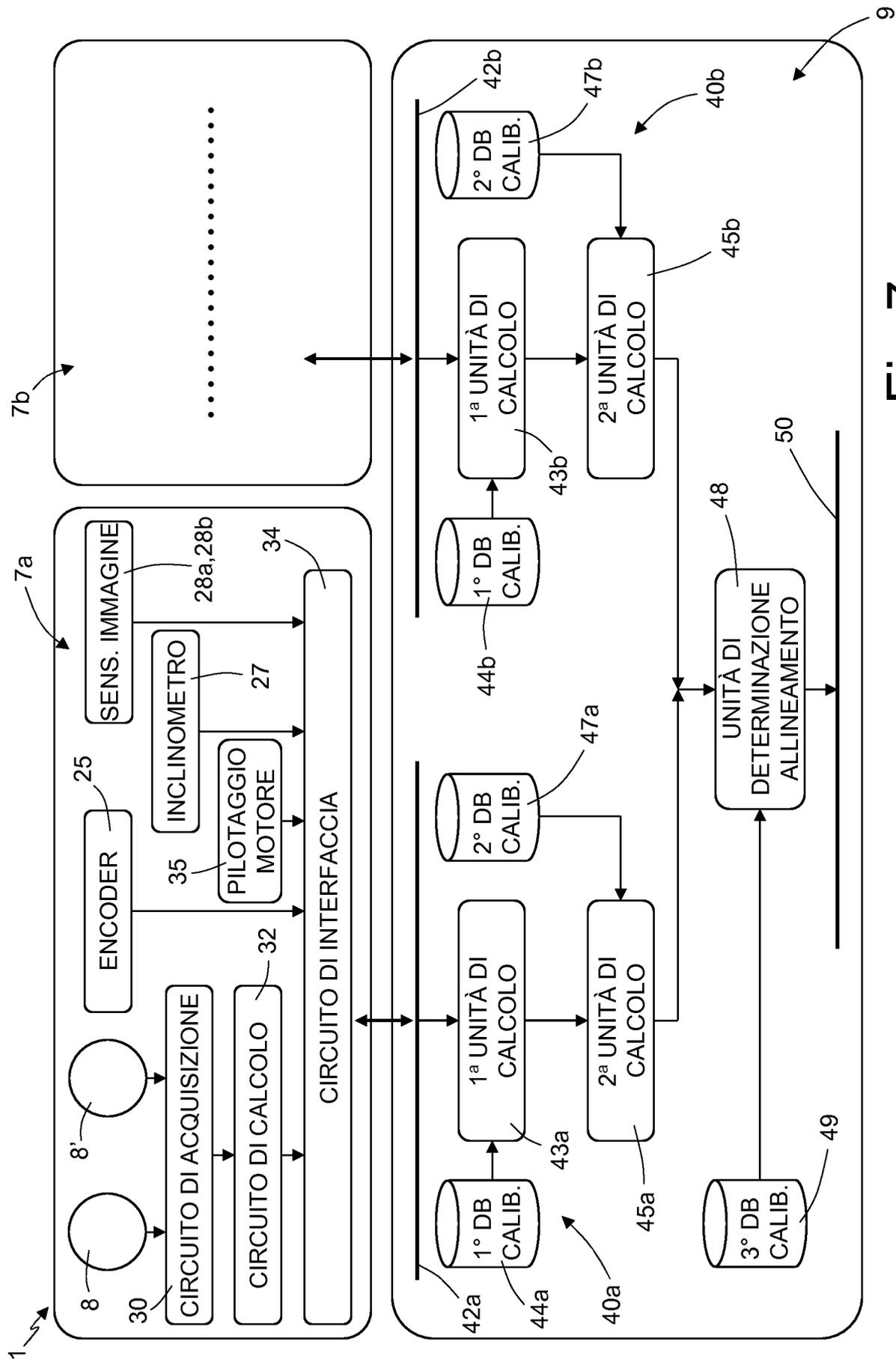


Fig.7



Fig.8

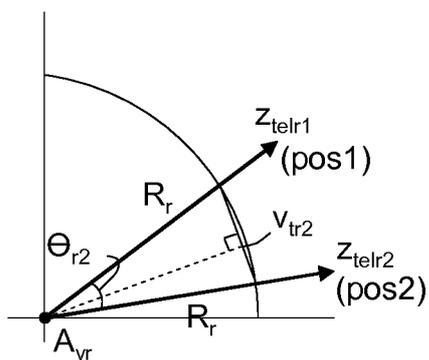
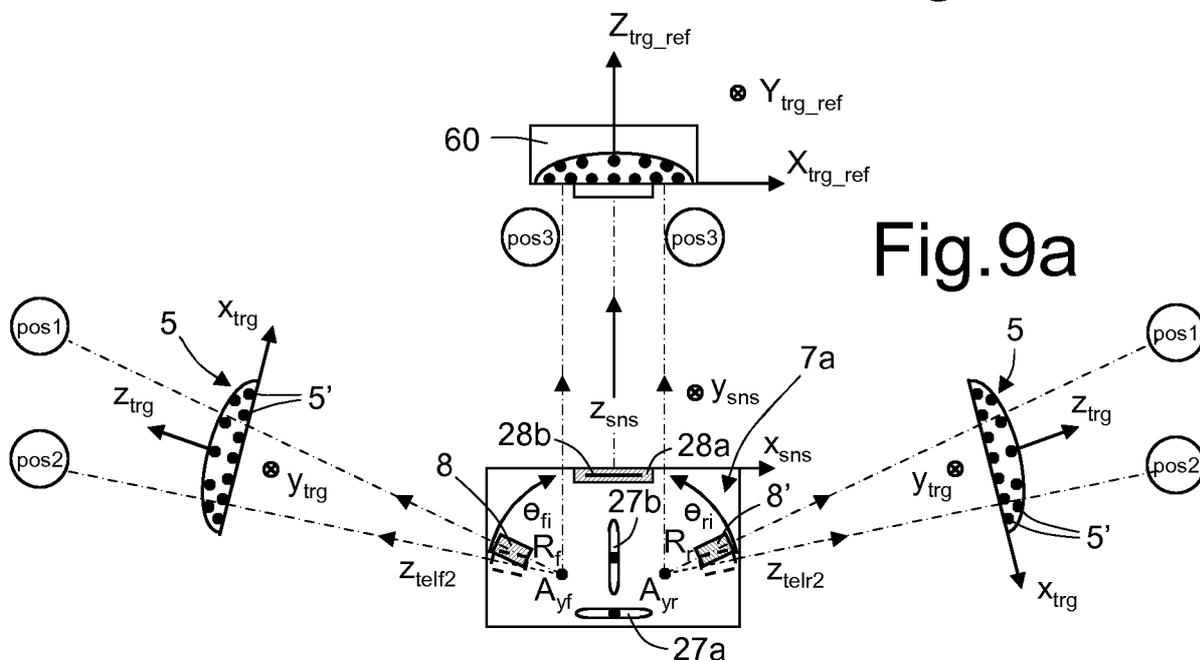


Fig.9b

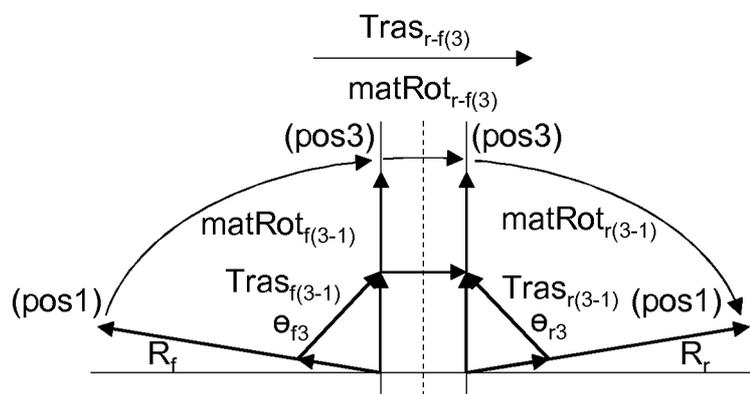


Fig.9c