



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

UIBM

DOMANDA NUMERO	101994900393713
Data Deposito	04/10/1994
Data Pubblicazione	04/04/1996

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	25	J		

Titolo

SISTEMA DI NAVIGAZIONE PER ROBOT MOBILE AUTONOMO
--

4 OTT. 1994

-2- Ing. Barzanò & Zanardo Milano S.p.A.

DESCRIZIONE del brevetto per invenzione industriale

a nome: CONSORZIO TELEROBOT

di nazionalità: italiana

MI 94A002020

con sede in : GENOVA

=====

La presente invenzione si riferisce ad un sistema di navigazione per robot mobili.

I sistemi di guida di un robot comprendono soluzioni alquanto diverse. Nel suo movimento all'interno di un ambiente, il robot viene comandato a muoversi lungo percorsi prestabiliti. Il robot verifica la propria posizione sul percorso che sta attuando, compiendo misurazioni di tipo odometrico. Questo significa che sensori posti sugli elementi che ne attuano la locomozione, ad esempio sulle ruote, computano la distanza percorsa dal robot e eventuali variazioni angolari di traiettoria intervenute. Assistito da questo tipo di misurazioni, il robot è in grado di muoversi lungo qualsiasi tipo di traiettorie. In realtà però giochi fra parti meccaniche in movimento non calcolabili a priori, slittamenti rispetto al terreno, sconnessioni del terreno stesso, ed altre imperfezioni ancora fanno sì che esista una discordanza fra la posizione calcolata in un determinato istante a partire dalle misurazioni

odometriche e la posizione effettivamente occupata in quel momento dal robot. Questi errori di valutazione vanno sempre più accumulandosi durante il movimento del robot, il quale può quindi alla fine del suo percorso prestabilito ritrovarsi in una posizione totalmente diversa da quella desiderata.

Si è quindi reso necessario dotare il robot di un sistema autonomo di verifica ricorrente della propria posizione all'interno di un ambiente, e laddove questa verifica evidenzia una posizione stimata odometricamente differente da quella effettiva, che le misurazioni odometriche vengano riaggiorate riportandole ai loro valori corretti. In questo modo si ha una verifica ciclica della reale posizione del robot, ed una eventuale correzione della traiettoria se si è evidenziato un errore significativo; così, il pericolo che alla conclusione del percorso il robot si ritrovi in una posizione erronea, è più limitato.

Sono state proposte in passato differenti modalità di attuazione di una tale verifica. Una soluzione ampiamente praticata è quella di inserire nell'ambiente o negli ambienti in cui il robot deve muoversi sensori sia attivi che passivi, localizzati in posizioni predeterminate e note al robot stesso. Per sensori attivi si intendono ad esempio beacon

attivi i quali emettono segnali codificati. Sul robot è allocato un sensore passivo che è in grado di rilevare i segnali emessi da più beacons in modo che il sistema di navigazione del robot possa dedurre la propria posizione rispetto ad essi. Spesso i beacons sono accoppiati con emettitori RF (in radiofrequenza) al fine di trasmettere al robot il codice di posizione associato al beacon stesso.

Altri sistemi utilizzano sensori in grado di emettere energia sistemati a bordo del robot, ad esempio scanner laser rotanti accoppiati ad un fotodiodo. Nell'ambiente sono sistemati all'uopo alcuni retroriflettori i quali riflettono il segnale proveniente dall'emettitore rotante. Il sistema di navigazione del robot risale poi alla posizione del robot con adeguate triangolazioni.

Questi sistemi noti presentano svantaggi e problemi.

Innanzitutto, poichè il numero di sensori attivi o oggetti riflettenti necessario al calcolo della posizione del robot è al minimo di tre, il numero di detti sensori deve essere assai alto, in modo tale che in ogni punto dell'ambiente in cui si muove il robot sia allo stesso robot possibile "vedere" contemporaneamente tre di detti sensori o oggetti

riflettenti. Se l'ambiente presenta una struttura relativamente complessa, il numero di questi sensori può diventare assai alto. Questo sistema risulta cioè particolarmente invasivo rispetto all'integrità della zona operativa.

Inoltre nel caso di utilizzo di un laser, la sua introduzione in un ambiente di lavoro pone problemi di normativa di sicurezza qualora la potenza emessa superi determinati livelli. Peraltro qualora la potenza emessa fosse volutamente contenuta, la distanza utile di funzionamento risulterebbe bassa, e quindi la sua efficacia persa.

Scopo della presente invenzione è quello di configurare un sistema di navigazione entro il quale la posizione del robot nell'ambiente sia ricostruibile in maniera univoca e semplice, senza incorrere nei problemi sopra citati.

Oggetto della presente invenzione è quindi un sistema di navigazione per un robot autonomo, mobile in un ambiente che comprende in punti prestabiliti codici segnaletici, detto sistema comprendente mezzi atti a memorizzare dati riguardanti detto ambiente, ivi compresi quelli riguardanti le posizioni di detti codici segnaletici relativamente all'ambiente stesso, mezzi per l'acquisizione come immagine ed il

riconoscimento automatico di detti codici segnaletici, un apparato di calcolo per stimare la propria posizione ed orientazione rispetto ad uno di detti codici segnaletici e rispetto all'ambiente, mezzi per l'acquisizione della localizzazione di postazione obiettivo e mezzi per la pianificazione di un percorso da attuare entro l'ambiente suddetto per raggiungere postazioni obiettivo e mezzi di comando del movimento del robot a partire da detti dati di percorso, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di acquisizione sono un sistema di visione passiva.

Tali codici segnaletici sono in generale chiamati *landmark*, e sono entità geometriche, disegnate su carta o cartoncino affisso a parete o a suolo, composte da due cerchi concentrici, di cui il rispettivo diametro è una caratteristica fondamentale. In particolare, vantaggiosamente, la zona centrale è bianca, mentre la corona circolare compresa fra i due cerchi è di colore scuro, in particolare nero.

I vantaggi di utilizzare tali *landmark* sono diversi e cospicui. Esiste in primo luogo una procedura matematica in forma chiusa che permette di calcolare la posizione ed orientamento nello spazio di una circonferenza (noto il raggio) a partire

dall'equazione dell'ellisse sua proiezione nel piano immagine. Una doppia circonferenza, ovvero un anello circolare ad alto contrasto, generano un'immagine molto caratterizzata e difficilmente confondibile con strutture pittoriche nell'ambiente. Infine, rispetto ad altre configurazioni di punti utilizzabili come landmark, la circonferenza non pone problemi di corrispondenza, in quanto tutti i punti del bordo dell'ellisse sua immagine possono essere usati indifferentemente per stimarne l'equazione.

Per rendere possibile, a partire dalle medesime configurazioni geometriche di forma la distinzione di più segni diversi, si agisce sul rapporto dei due diametri, variandolo e mantenendo costante il diametro del cerchio posto esternamente. In questo modo, ad ogni rapporto corrisponderà un segno diverso.

Tali landmark sono facilmente distinguibili gli uni dagli altri, a partire dal diverso diametro del cerchio posto internamente, ma soprattutto sono facilmente distinguibili da qualsiasi oggetto che possa essere localizzato nell'ambiente. Questo è essenziale per poter evitare confusioni ed errori laddove il robot scambiasse per landmark un diverso oggetto. Essi, inoltre, sono di facile realizzazione,

e per lo loro stessa conformazione non ci sono assi verticali o orizzontali secondo i quali debbano essere orientati.

Preferibilmente il sistema di visione passiva è composto da una telecamera montata sul corpo del robot, ove detta telecamera in maniera assai preferita è una telecamera del tipo CCD a bianco/nero, la quale genera un segnale video di tipo CCIR standard.

I mezzi per l'acquisizione di immagine comprendono ulteriormente un microcomputer, una memoria di sistema, un bus di sistema e dispositivi di comunicazione, una scheda di acquisizione immagini collegata al microcomputer tramite il bus di sistema, ove detta scheda campiona un segnale video CCIR standard bianco/nero e lo memorizza in un banco di memoria sotto forma di matrice immagine.

Ulteriori vantaggi, aspetti e caratteristiche della presente invenzione risulteranno meglio chiariti dalla seguente descrizione, la quale viene riportata con finalità puramente esemplificative. Essa si basa sulle figure allegate in cui

- figura 1 riporta una rappresentazione schematica di una global map prevista per la seguente invenzione.

- figura 2 rappresenta una mappa fisica di un ambiente in cui può essere impiegato un robot autonomo che si muova secondo il sistema di navigazione della presente invenzione

- figura 3 rappresenta un'immagine utilizzata per la calibrazione della telecamera della presente invenzione.

- figura 4 rappresenta la relazione tra piano immagine della telecamera e suo centro ottico secondo la presente invenzione.

- figura 5 rappresenta la relazione fra piano di calibrazione della telecamera ed orientazione della telecamera stessa secondo la presente invenzione.

- figura 6 schematizza come diagramma a flussi una procedura di riconoscimento di un landmark in una immagine secondo la presente invenzione.

- figura 7 schematizza in un diagramma a flussi le fasi di calibrazione di una telecamera secondo la presente invenzione.

Il sistema di navigazione oggetto della presente invenzione deve essere informato della conformazione dell'ambiente o degli ambienti in cui il robot deve muoversi; questo avviene inserendo una mappa denominata mappa globale, i cui dati sono composti da sottoinsiemi denominati:

- grafo dei sistemi di riferimento
- grafo dei punti di navigazione
- lista dei landmarks.

Tali dati vengono costruiti offline durante la fase di installazione che precede l'utilizzazione effettiva del robot.

Il grafo dei sistemi di riferimento descrive i sistemi di riferimento cartesiano destrorsi del piano di navigazione (pavimento) e le trasformazioni di coordinate fra essi. Ciascun sistema di riferimento è rappresentato da un vertice del grafo mentre la trasformazione di coordinate da un sistema ad un altro è rappresentata da un arco orientato dal vertice associato al primo sistema a quello associato al secondo avente come attributi l'origine e l'orientamento del primo riferimento espressi nel secondo riferimento.

La figura 1 descrive il contenuto di una mappa globale, in particolar modo del grafo dei sistemi di riferimento e di quello dei punti di navigazione.

La lista dei landmarks elenca tutti i landmarks utilizzabili per la navigazione: per ciascuno di essi viene indicato il sistema di riferimento associato, la misura delle dimensioni caratteristiche esterne (cioè della figura concentrica esterna) ed il valore

del rapporto fra le misure omologhe caratteristiche delle due figure geometriche concentriche. Questo rapporto, come già detto deve essere tale da identificare univocamente il landmark. Il sistema di riferimento associato ad un landmark ha, per convenzione, come origine la proiezione sul piano di navigazione del centro del landmark e come asse y la retta normale al piano del landmark avente come direzione positiva quella uscente dal lato visibile.

Il grafo dei punti di navigazione contiene i punti del piano di navigazione nei quali il veicolo robot può recarsi ed i tratti rettilinei percorribili tra di essi. Ciascun punto di navigazione è rappresentato nel grafo da un vertice avente come attributi il sistema di riferimento associato e la posizione del punto espressa nel sistema di riferimento associato.

In figura 2 è riassunta una mappa fisica, associabile ad una mappa globale come quella riportata in figura 1.

Nel movimento di un robot all'interno di un ambiente, ha rilevante importanza la cosiddetta missione. Una missione è una sequenza di goal, cioè di obiettivi, che il veicolo robot deve raggiungere. Ciascun goal è realizzato tramite l'esecuzione di una

lista di azioni primitive, percettive o motorie, che prende il nome di task. La concatenazione sequenziale di tali task forma il dato missione che l'apparato di comando di cui il robot è dotato tradurrà in azioni efficaci.

La attuazione di un percorso ovvero di una missione, a partire da un suo punto di partenza si svolgerà essenzialmente nelle seguenti fasi:

1)- il robot verrà comandato a spostarsi secondo il grafo dei punti di navigazione al successivo punto di navigazione;

2)- mediante misure odometriche il robot valuterà la sua posizione e si arresterà a presunto raggiungimento avvenuto del punto di navigazione prefissato;

3)- a questo punto il robot tenterà di inquadrare un landmark posto in prossimità del punto di navigazione a cui è arrivato;

4)- inquadrato il landmark e riconosciuto nella lista dei landmarks di cui è dotato, il robot stimerà la sua posizione ed orientazione rispetto ad esso riaggiornando quindi in base a questa indicazione la sua posizione ed orientazione entro la mappa globale nota;

6)- il robot ripeterà le fasi da 1) a 4) per un successivo punto di navigazione, fino a completamento della missione impartitagli.

Il punto essenziale alla presente invenzione è la modalità di inquadramento e riconoscimento del landmark e stima della posizione ed orientazione del robot rispetto al landmark stesso.

Fondamentale è quindi la capacità della telecamera di ricostruire un'immagine, e di trarre informazioni di tipo geometrico da essa.

Data una certa scena inquadrata, il sistema di visione (composto da telecamera e scheda di acquisizione) ne fornisce in uscita una rappresentazione spaziale bidimensionale detta *matrice immagine*, o anche solo *immagine*, sotto forma di matrice rettangolare di valori positivi. Essa viene formata utilizzando un sensore interno alla telecamera suddiviso in una griglia rettangolare di celle fotosensibili per ognuna delle quali viene misurata l'intensità luminosa incidente. A ciascuna di queste celle corrisponde un diverso elemento della matrice immagine, detto pixel, il cui valore, detto livello di grigio è proporzionale all'intensità luminosa incidente sulla cella corrispondente. Il sensore CCD è una matrice rettangolare di celle

fotosensibili che si mappano su una corrispondente matrice "immagine" di pixel ottenuta per campionamento analogico/digitale del segnale analogico di output della telecamera. Per descrivere il modello geometrico che lega un generico punto nella scena al pixel che gli corrisponde nell'immagine occorre dapprima definire come piano immagine il piano nello spazio che contiene il sensore della telecamera. Come si ricava da figura 4, l'immagine sul sensore di un generico punto P della scena è il punto di intersezione IP col piano immagine SEN della retta che congiunge detto punto P ad un punto fisso OC detto centro ottico o pinhole. Il centro ottico si trova approssimativamente al centro del sistema di lenti della telecamera. Poiché la posizione relativa fra il centro ottico OC ed il piano immagine SEN non dipende nè dall'orientazione della telecamera nè dalla sua posizione, allora si può definire come centro immagine OI la proiezione perpendicolare del centro ottico OC sul piano immagine SEN. La distanza fra il centro ottico OC e il centro immagine OI è detta lunghezza focale, mentre la retta congiungente detti due punti è denominata asse ottico. Un modello di formazione di immagine di questo tipo è detto modello di telecamera

a pinhole. Le coordinate $x_I(IP)$ e $y_I(IP)$ del punto immagine IP espresse in unità di lunghezza focale nel sistema di riferimento centrato sul centro immagine OI, si ricavano da quelle $x_C(P)$ e $y_C(P)$ del punto P nel sistema di riferimento centrato in OC come

$$x_I(IP) = \frac{x_C(P)}{z_C(P)} ;$$

$$y_I(IP) = \frac{y_C(P)}{z_C(P)}$$

Come si vede da figura 5, l'orientazione della telecamera rispetto al piano orizzontale di navigazione è individuata da due angoli: l'angolo di tilt θ indica l'inclinazione dell'asse ottico z_C rispetto al piano di navigazione; l'angolo di swing ψ indica la rotazione tra una retta qualsiasi parallela alla linea orizzonte e l'asse orizzontale x_C della telecamera. La posizione della telecamera rispetto al piano di navigazione è specificata dall'altezza h in millimetri del centro ottico OC sul piano di navigazione.

Il diagramma di flusso di figura 6 illustra la procedura di generazione di ipotesi di presenza di un landmark entro il campo visivo della telecamera. L'immagine viene suddivisa in un insieme predefinito di righe equispaziate ognuna delle quali viene scandita orizzontalmente alla ricerca di punti in cui

l'intensità luminosa subisce una transizione di valore superiore a una data soglia. Questi punti sono poi considerati come estremi di segmenti lungo i quali l'intensità luminosa è pressochè costante. Ogni segmento in cui l'intensità cresce muovendosi dall'interno del segmento all'esterno sarà considerato come nero (N) mentre se accade l'inverso sarà considerato come bianco (B). Ogni riga genererà quindi sequenze di segmenti nero e segmenti bianco.

La stessa immagine viene poi scandita per colonne verticali in maniera analoga; anche in questo caso si ottengono come risultato sequenze di segmenti nero e segmenti bianco.

Attraverso una opportuna analisi e rielaborazione di dette sequenze di segmenti, è possibile ricostruire la forma del landmark eventualmente inquadrato, e confrontare detta forma con una di quelle possibili note all'elaboratore.

Attraverso una prima procedura approssimata di intersecazione delle sequenze ottenute scandendo l'immagine verticalmente ed orizzontalmente si giunge ad una stima di massima delle dimensioni significative dell'immagine del landmark eventualmente inquadrato. Una procedura più raffinata, in cui a partire da detta stima di massima

si studia il gradiente di intensità luminosa delle zone di passaggio da segmento bianco a segmento nero o viceversa, consente di individuare con precisione le dimensioni delle due ellissi, immagine delle circonferenze del landmark.

Con una procedura più raffinata, in cui a partire da detta stima di massima si studia il gradiente di intensità luminosa delle zone di passaggio da segmento bianco a segmento nero o viceversa, è poi possibile individuare con precisione una pluralità di punti appartenenti alle immagini di entrambi i contorni circolari del landmark. Queste immagini dei contorni sono una coppia di ellissi, una interna all'altra, le cui equazioni vengono ricavate imponendo che detti punti corrispondenti vi appartengano. Dall'equazione dell'ellisse più esterna con un procedimento matematico detto di inversione prospettica, si valuta la posizione e orientazione che il corrispondente contorno circolare esterno del landmark, il cui diametro è noto a priori, deve necessariamente avere rispetto alla telecamera per poter produrre nell'immagine detta ellisse. Dalla conoscenza di come la telecamera è posizionata e orientata rispetto al robot, è quindi possibile valutare la posizione e orientazione dello stesso

rispetto al landmark. Si ripete quindi il medesimo procedimento di inversione prospettica sull'ellisse interna calcolando la distanza dal centro ottico della telecamera alla quale il centro di un contorno circolare che avesse diametro pari a quello del contorno circolare esterno del landmark dovrebbe necessariamente trovarsi per produrre detta ellisse interna. Si valuta quindi il rapporto tra il diametro del contorno circolare esterno e quello del contorno circolare interno del landmark come il rapporto tra detta distanza e quella, sempre rispetto al centro ottico, del centro del landmark come si deduce dalla posizione e orientazione precedentemente valutate. Questo rapporto di diametri, in quanto indicato nella lista dei landmark come rapporto noto a priori tra due misure omologhe caratteristiche dei due contorni circolari concentrici del landmark inquadrato, permette l'identificazione univoca del medesimo

Un aspetto assai vantaggioso della presente invenzione è la modalità di calibrazione del sistema telecamera/robot. Infatti, per poter ricavare informazioni geometriche sulla posizione ed orientazione del veicolo robot a partire da immagini acquisite da un sistema di visione a bordo è necessario aver preliminarmente individuato la

relazione che lega la posizione rispetto al veicolo di un generico punto nella scena con la sua immagine. per far questo si fa uso di una sequenza di immagini di un oggetto di riferimento dalle caratteristiche note riprese da differenti punti di vista. In particolare si inquadra un reticolo planare rettangolare regolare noto formato da una pluralità di righe e di colonne di forme geometriche regolari.

Con riferimento a figura 3, viene a tal scopo utilizzato secondo la presente invenzione un reticolo planare rettangolare regolare formato da righe e colonne di pallini identici scuri su fondo chiaro. Esso viene disposto su un piano verticale rispetto al piano di navigazione, definendo così un sistema di riferimento G destrorso solidale ad esso avente come asse zG l'asse verticale diretto verso l'alto e passante per i centri dei pallini della colonna centrale, come origine OG l'intersezione di zG con il piano di navigazione, come asse yG l'asse parallelo al piano di navigazione e perpendicolare al piano del reticolo e diretto come il vettore uscente dal punto di vista OC e entrante perpendicolarmente nel piano del reticolo. L'asse xG risulta essere allora orizzontale e giacente sul piano del reticolo diretto verso destra osservando il reticolo frontalmente.

La procedura di calibrazione ha l'obiettivo di trovare l'effettiva relazione geometrica fra punti nella scena e la loro immagine ottenuta dal sistema di visione, come pure la trasformazione tra quest'ultimo e il sistema di misura odometrica. Utilizzando il modello di telecamera a pinhole, si deve dapprima scrivere un modello di formazione dell'immagine che dipenda solo da un numero limitato di parametri liberi per i quali occorre poi trovare quei valori tali che il modello che ne deriva riproduca il più fedelmente possibile la trasformazione da punti tridimensionali di posizione nota del sistema di riferimento odometrico corrente ai corrispondenti punti nell'immagine. I parametri liberi del modello di formazione dell'immagine sono quelli propri del modello di telecamera a pinhole: la lunghezza focale α_u e α_v espressa in larghezza e altezza di un pixel; le coordinate (u_0, v_0) del centro immagine espresse in pixel, la posizione della telecamera rispetto al piano di navigazione; l'altezza h del centro ottico rispetto al piano di navigazione; gli angoli di tilt θ e di swing ψ . Altri parametri legano il sistema di riferimento della telecamera proiettato sul piano di navigazione al sistema di riferimento odometrico V solidale al

veicolo. Infine vi sono i parametri che legano il sistema di riferimento odometrico di partenza O con il sistema di riferimento G solidale al reticolo di calibrazione; esclusi questi ultimi parametri relativi al reticolo, i valori di tutti gli altri parametri costituiscono il risultato della procedura di calibrazione e vengono utilizzati come ingresso noto a priori dalle procedure di localizzazione con landmark.

Dal modello di formazione dell'immagine si definiscono algebricamente due funzioni che danno la posizione in pixel nell'immagine ripresa dal veicolo robot in una certa posizione e orientazione θ rispetto al sistema di riferimento odometrico di partenza del centro di un dato pallino avente coordinate note, espresse nel sistema di riferimento del reticolo, in funzione del vettore di parametri liberi del modello.

La procedura di calibrazione è suddivisa in tre fasi: una prima acquisizione di immagini da varie posizioni, misura delle posizioni dei centri dei pallini visibili nelle immagini dati e loro successiva elaborazione per trovare i parametri liberi del modello di formazione dell'immagine.

Nella prima fase, quella cioè di acquisizione di immagini, si impiega una lista predefinita di un dato numero di posizioni ed orientazioni che il robot deve sequenzialmente raggiungere per poi acquisirvi in ciascun caso un'immagine del reticolo di calibrazione che viene memorizzata nella lista di immagini per la seconda parte della procedura di calibrazione. Associata ad ogni immagine acquisita, viene memorizzata la posizione ed orientazione del robot stimata dal sistema odometrico in un riferimento invariante durante la procedura.

Nella seconda fase l'utente considera tutte le immagini della lista di immagini preparata durante la prima fase. In ciascuna di esse egli deve selezionare quattro pallini di riferimento a tre a tre non allineati. La trasformazione da punti del reticolo a corrispondenti punti dell'immagine è una trasformazione tra due piani proiettivi, cosicchè è possibile effettuare un'interpolazione delle posizioni dei centri dei quattro pallini selezionati per stimare la posizione sull'immagine dei centri anche degli altri pallini del reticolo. L'immagine viene poi binarizzata, cioè il livello di grigio di ciascun pixel viene messo al massimo o al minimo valore possibile a seconda che esso sia superiore o

inferiore ad una certa soglia stabilita dall'utente. Per ciascun pallino del reticolo, viene allora effettuata una procedura di misura della posizione del suo centro nell'immagine. Si sfrutta qui il fatto che i pixel dell'immagine di un pallino sono tutti allo stesso valore per effetto della binarizzazione, poichè i pallini del reticolo sono scuri su fondo chiaro; viene quindi identificata la massima regione connessa formata da pixel avente valore massimo di livello di grigio e contenente il pixel che l'interpolazione precedente indicava come centro previsto del pallino stesso. La nuova misura della posizione del centro viene poi calcolata come la posizione del baricentro dei pixel di tale regione.

Nella terza fase di calibrazione si calcola la previsione della posizione nelle varie immagini dei centri dei pallini inquadrati in funzione dei parametri liberi del modello di formazione dell'immagine e costruire così una funzione errore che è la somma dei quadrati delle distanze sull'immagine delle posizioni dei centri dei pallini misurare dalla posizione degli stessi come previste dal modello di formazione dell'immagine quando il veicolo si trova nella corrispondente posizione e

orientazione specificate nella lista di posizione assunte per le riprese.

I valori dei parametri liberi che rendono minima tale funzione errore sono quelli che meglio riproducono le osservazioni effettive.

Si sottolinea come secondo l'oggetto della presente invenzione, il robot, per individuare con correttezza la propria posizione, debba inquadrare un solo landmark, e non almeno tre come nello stato dell'arte. Questo comporta una minor invasività rispetto all'ambiente del sistema di navigazione, un minor costo ed una minor manutenzione.

Durante la procedura di inquadramento, può capitare che il robot abbia accumulato una quantità così ingente di errori di posizione, che non trovi alcun landmark nel campo di visione atteso. In tal caso esso è predisposto per ruotare la telecamera secondo un piano orizzontale. Questa possibilità aumenta la affidabilità dell'intero robot, e permette un pressochè perfetto e sempre possibile orientamento dello stesso nell'ambiente in cui si muove.

Per una miglior possibilità di gestione e comando, il robot comprende ulteriormente un terminale interattivo. Detto terminale interattivo si

-25- Ing. Barzanò & Zanardo Milano S.p.A.

componi di un display alfanumerico e di un
tastierino.

Ing. Barzanò & Zanardo Milano S.p.A.

RIVENDICAZIONI

1. Sistema di navigazione per un robot autonomo, mobile in un ambiente che comprende in punti prestabiliti codici segnaletici, detto sistema comprendente mezzi atti a memorizzare dati riguardanti detto ambiente, ivi compresi quelli riguardanti le posizioni di detti codici segnaletici relativamente all'ambiente stesso, mezzi per l'acquisizione come immagine ed il riconoscimento automatico di detti codici segnaletici, un apparato di calcolo per stimare la propria posizione ed orientazione rispetto ad uno di detti codici segnaletici e rispetto all'ambiente, mezzi per l'acquisizione della localizzazione di postazioni obiettivo e mezzi per la pianificazione di un percorso da attuare entro l'ambiente suddetto per raggiungere postazioni obiettivo e mezzi di comando del movimento del robot a partire da detti dati di percorso, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di riconoscimento sono un sistema di visione passiva.

2. Sistema secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti codici segnaletici sono entità geometriche composte da due cerchi concentrici, uno esterno ed uno interno, ognuno di

questi due cerchi avendo una dimensione caratteristica, cioè il diametro.

3. Sistema secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che il rapporto fra i due diametri dei due cerchi concentrici è variabile, mentre il diametro del cerchio posto esternamente rimane costante.

4. Sistema secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto sistema di visione passiva è composto da una telecamera montata solidalmente al corpo del robot.

5. Sistema secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detta telecamera è una telecamera del tipo CCD a bianco/nero che genera un segnale video CCIR standard.

6. Sistema secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto apparato di calcolo per la stima della posizione ed orientazione del robot dal relativo codice segnaletico si avvale della inversione prospettica dell'equazione dell'ellisse a cui il sistema di visione passiva riconduce il codice segnaletico stesso.

7. Sistema secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti mezzi per l'acquisizione di immagine comprendono un

microcomputer, una memoria di sistema, un bus di sistema e dispositivi di comunicazione, una scheda di acquisizione immagini collegata al microcomputer tramite il bus di sistema, ove detta scheda campiona un segnale video CCIR standard bianco/nero e lo memorizza in un banco di memoria sotto forma di matrice immagine.

8. Sistema secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto robot comprende ulteriormente un terminale interattivo.

9. Sistema secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che detto terminale interattivo si compone di un display alfanumerico e di un tastierino.

10. Robot dotato del sistema di navigazione di cui alla rivendicazione 1, per il quale è prevista una procedura di installazione, che consta dei seguenti punti:

- a) calibrazione del sistema robot/telecamera
- b) assunzione e relativa memorizzazione di dati riguardanti l'ambiente in cui il percorso deve attuarsi;

dopo di che, una volta posizionato in prossimità di un codice segnaletico

-c) l'utente fornisce al robot la postazione obiettivo da raggiungere, ovvero il comando fine missione;

-d) il robot pianifica il percorso da effettuare a partire dalla postazione obiettivo da raggiungere e dai dati riguardanti l'ambiente, suddividendolo in punti successivi da raggiungere;

-e) spostamento del robot per effetto di detti mezzi di comando del movimento al successivo punto del percorso pianificato;

-f) inquadramento tramite detto sistema di visione passiva di un codice segnaletico;

-g) riconoscimento del codice segnaletico;

-h) stima della propria posizione ed orientamento rispetto al suddetto codice segnaletico;

-i) calcolo della propria posizione ed orientamento rispetto all'ambiente a partire dalla posizione ed orientamento rispetto al codice segnaletico;

-j) spostamento comandato da detti mezzi di comando del movimento al successivo punto del percorso pianificato a partire dalla posizione calcolata al punto i;

-k) ripetizione dei punti e, f, g, h, i e j fino all'esaurimento dei punti di percorso pianificati;

-1) ripetizione del punto c, fino al comando di fine missione.

11. Robot secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che la calibrazione del punto a) viene eseguita nei seguenti passaggi:

- una prima acquisizione di immagini inquadrando un reticolo planare rettangolare regolare noto formato da una pluralità di righe e di colonne di forme geometriche regolari, ad esempio pallini identici scuri su fondo chiaro da varie posizioni,

- viene memorizzata la posizione ed orientazione del robot stimata dal sistema odometrico in un sistema di riferimento invariante,

- si effettua la misura delle posizioni dei centri delle figure visibili nelle immagini dati,

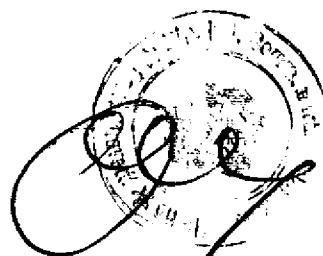
- si compie la elaborazione di dette posizioni e di detta posizione ed orientazione del robot per trovare i parametri liberi del modello di formazione dell'immagine.

\BOR\

Ing. Barzanò & Zanardo Milano S.p.A.

I MANDATARI:
(firma)

(per sé e per gli altri)



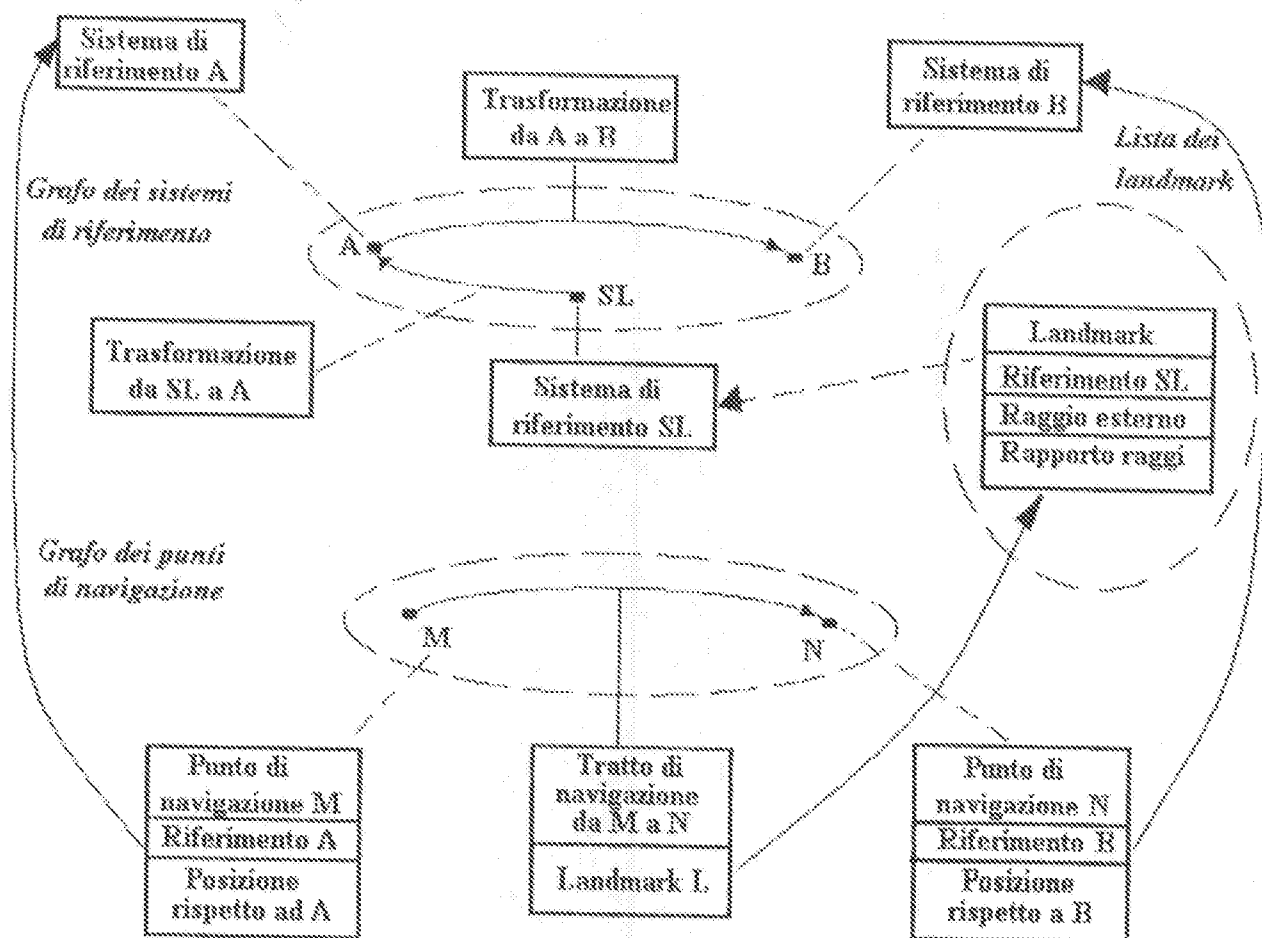
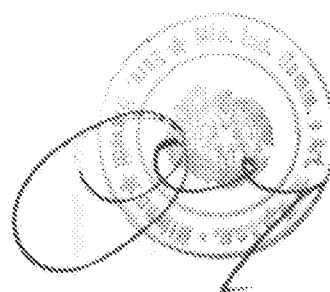


Fig. 1

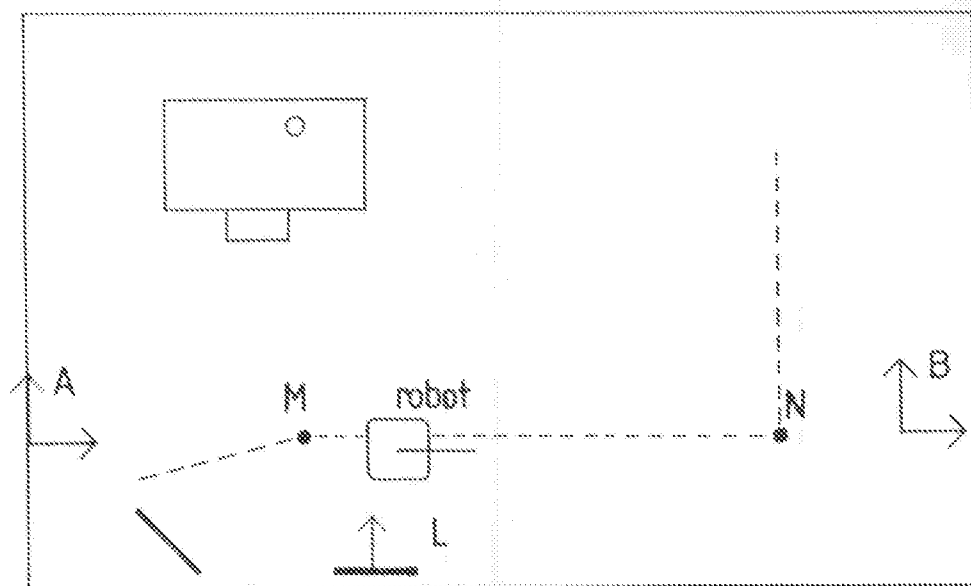
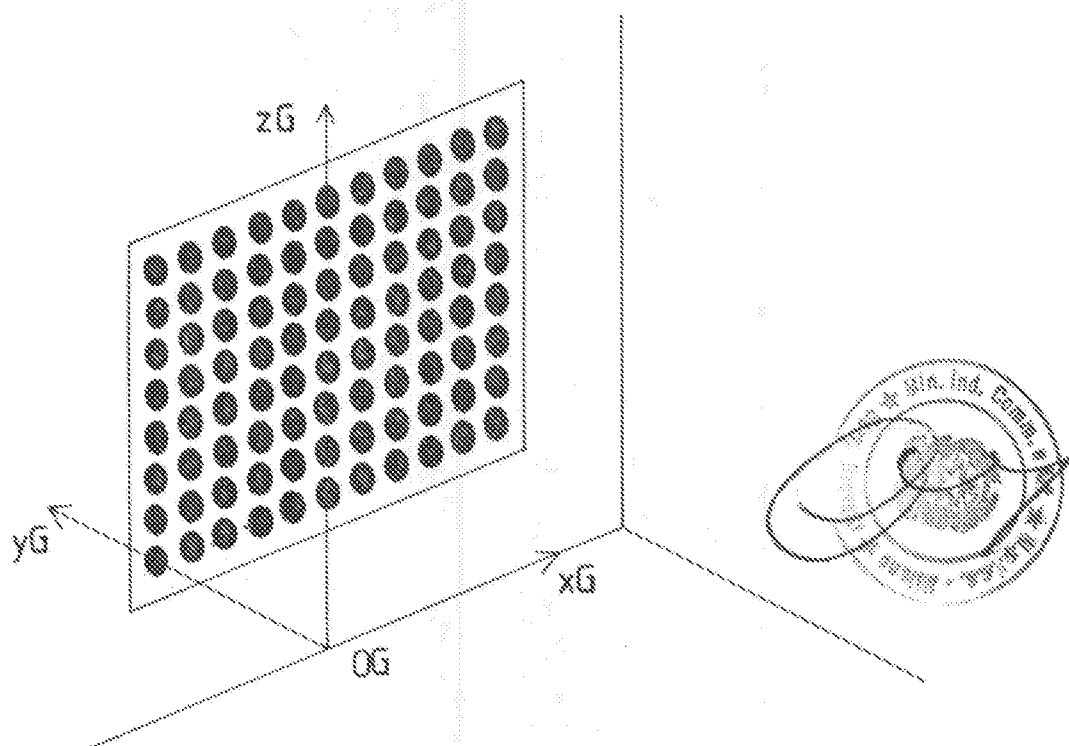


I MANDATARI:

(firma)

(per sé e per gli altri)

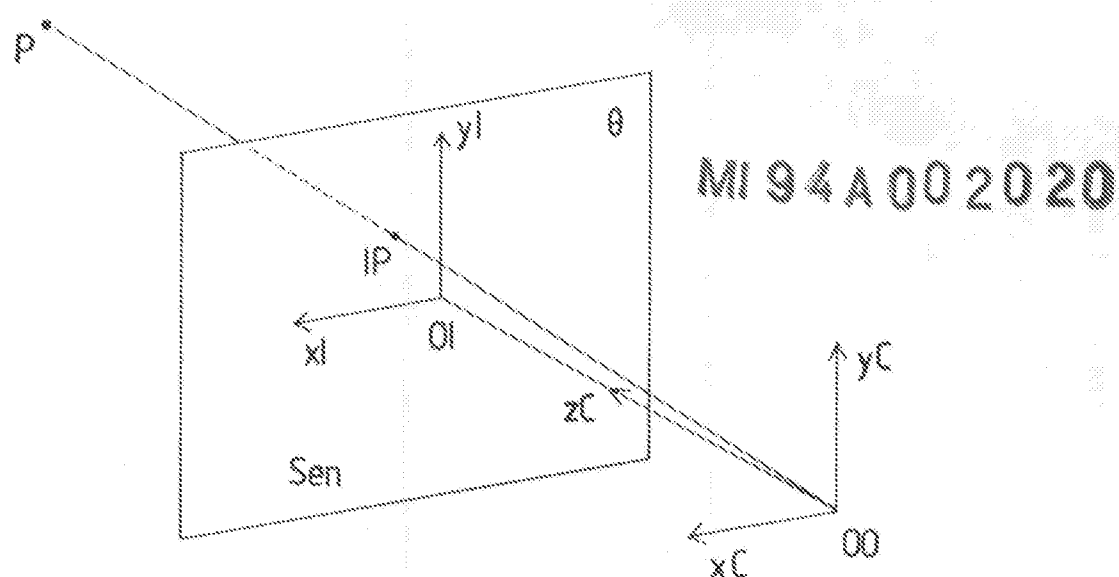
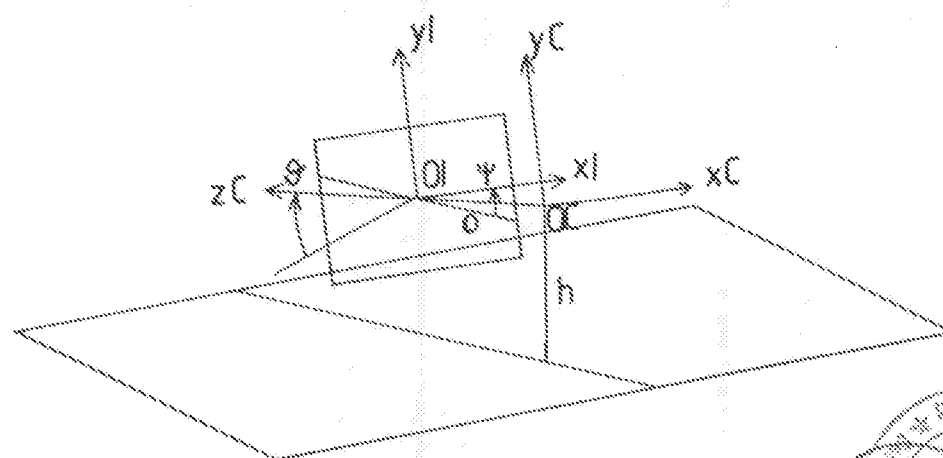
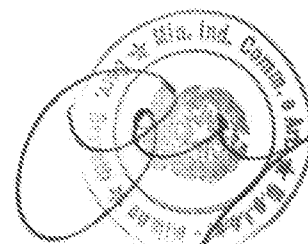
MI 94A 002020

Fig. 2Fig. 3

I MANDATARI

(firma)

(per sé e per gli altri)

Fig. 4Fig. 5

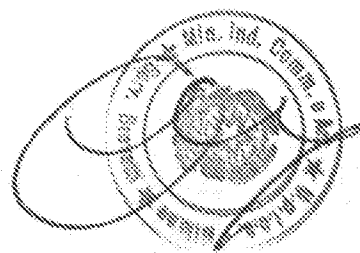
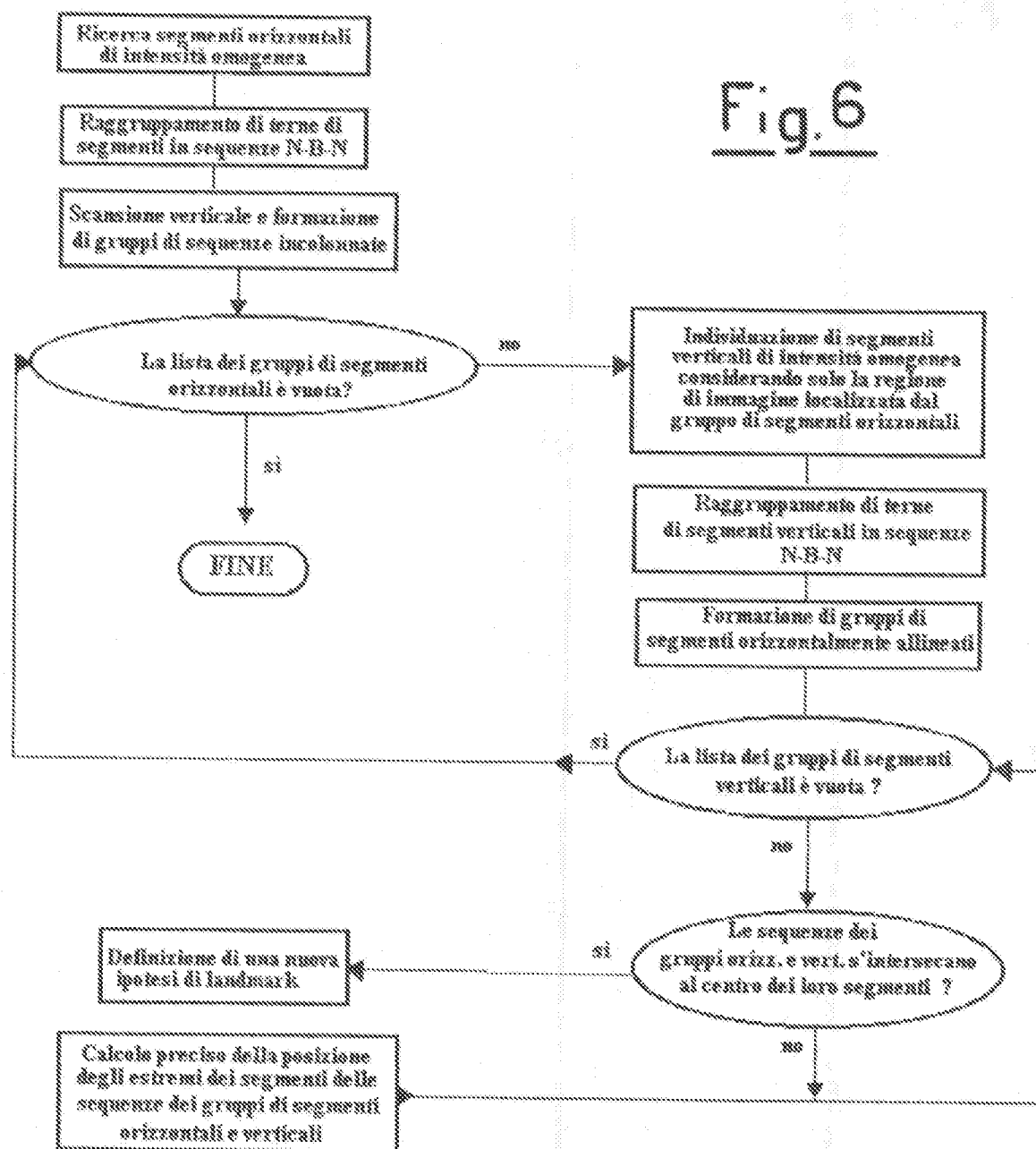
I MANDATARI

(firma)

(per te o per gli altri)

MI 94 A 00 20 20

Fig. 6

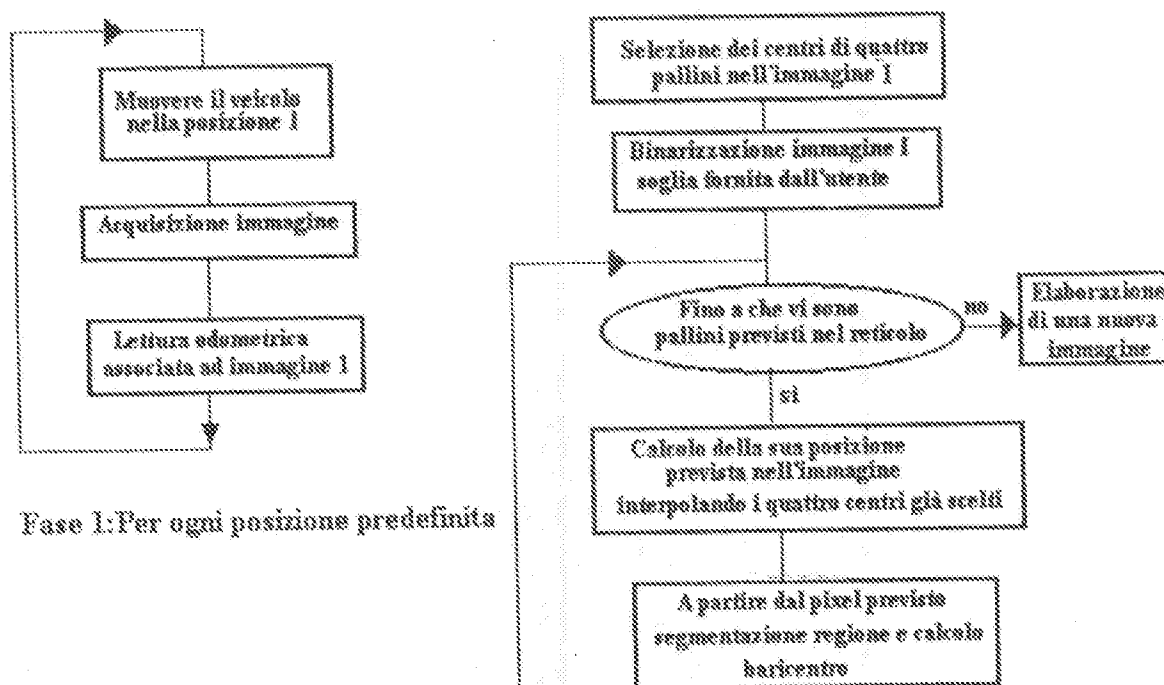


I MANDATARI:

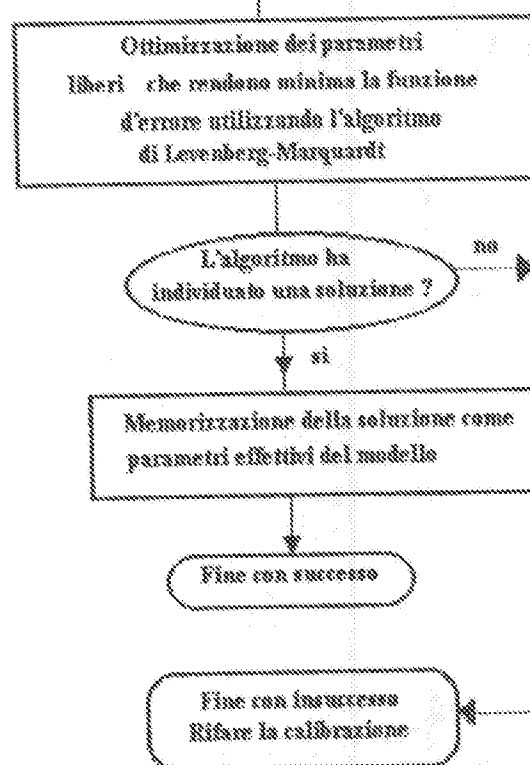
(firma)

(per sé e per gli altri)

MI 94 A 00 20 20

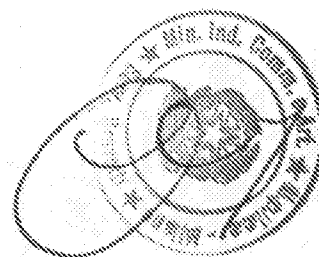


Fase 1: Per ogni posizione predefinita

Dati calcolati da
Fase 1 e 2Fase 2: Per ogni immagine
acquisita

Fase 3: Calcolo parametri di calibrazione

Fig. 7



I MANDATARI

(firma)

(per sé e per gli altri)