

DESCRIZIONE DELL'INVENZIONE INDUSTRIALE DAL TITOLO

Evoluzione dell'Odonto-Navi-Robot, sistema integrato per il rilievo del calco orale ed il posizionamento di precisione di impianti nello stesso

Inventori: Guido A. Danieli e Paola Nudo - Università della Calabria, - Francesco Inchingolo - Università di Bari, Massimo Marrelli - Tecnologica Srl - Crotona, Francesco Giuzio e Francesco Rizzuto – Studi Dentistici in Cosenza

Descrizione generale del campo di intervento dell'invenzione

Al momento il rilievo del calco orale viene fatto principalmente prendendo l'impronta dello stesso tramite speciali paste che, poste su apposite mascherine, vengono pressate sulla dentatura fino a solidificazione. L'impronta poi viene inviata ad uno studio tecnico ove, riempita di uno speciale gesso, fornisce il positivo della forma dell'arcata dentale. Principale problema di questa tecnologia, i tempi di realizzazione dei calchi. Ultimamente Siemens (Cerec) e 3M hanno però proposto metodi per il rilievo del calco intraorale tramite un sistema a telecamera, che viene retto manualmente dal medico. Ora, unico difetto di questi metodi, peraltro avanzatissimi, è la necessità di unire le varie porzioni di dati, derivanti dalle molteplici diverse immagini, necessarie per ottenere l'immagine globale della bocca del paziente, che può essere facilmente affetto da errore per il cumulo degli errori di ogni immagine, se la zona scannerizzata è di dimensioni rilevanti.

Quanto al posizionamento degli impianti è fatto manualmente dal medico e richiede molta perizia e lunghi tempi di attuazione, necessitando di tener conto sia della posizione in cui sarebbe necessario porre l'impianto per il supporto ottimale della protesi, ma anche, e soprattutto, della quantità di osso disponibile per l'infissione dello impianto stesso, sulla base dell'esame di una TAC. Da questa poi, quando si procede ai massimi livelli tecnologici attuali, viene ricavata una mascherina dotata di fori in corrispondenza dei punti in cui si è deciso di posizionare gli impianti. Anche così, l'operazione risulta comunque difficoltosa e non sempre di successo, dato che una volta completata la fase di impianto, il che ha comunque richiesto lunghi tempi di attesa, le difficoltà sorgono al momento di definire la forma delle protesi. La procedura attuale impone infatti l'installazione dei così detti abutments, che sono una prima sovrastruttura di collegamento all'impianto, quindi il rilievo di una nuova impronta, la creazione del nuovo modello in gesso, la scannerizzazione dello stesso onde generare il modello CAD, e quindi la generazione virtuale della protesi, la realizzazione ed installazione sul paziente di protesi provvisorie in resina ed infine, una volta realizzate le protesi, l'installazione dei nuovi denti definitivi. Come si comprende i tempi e quindi i costi diventano estremamente lunghi.

La presente invenzione tende invece a fornire al medico un sistema integrato che permetta, in una sola giornata, di far entrare nello studio dentistico alla mattina e farlo uscire alla sera con i suoi denti di resina, in attesa comunque delle protesi definitive, annullando contemporaneamente il cumulo degli errori derivanti dall'utilizzo di molteplici immagini caratteristico dei sistemi Cerec e 3M.

A tal fine vengono integrate e profondamente modificate due tecnologie di cui sono già state presentate domande di Brevetto Europeo, EP07849724.5 e EP07849718.7, con sistemi di prototipazione rapida e relativi metodi di modellazione CAD della bocca del paziente. In particolare la catena cinematica del sistema autobilanciato a 6 GDL viene modificata nella posizione delle due cerniere finali, e viene reso regolabile l'attacco tra mascherina ed apparecchiatura, modificando profondamente anche questa. Anche la struttura mobile, posta sul settimo membro della catena cinematica auto-bilanciata, viene

modificata aggiungendo contrappesi che si muovono in verso contrario al movimento delle slitte, in modo da garantire che il baricentro del sistema resti sempre in posizione stazionaria, al centro del polso sferico rappresentato dal punto di incontro degli ultimi tre assi.

Descrizione della realizzazione preferita.

In particolare, il sistema integrato per il rilievo del calco orale ed il posizionamento di precisione di impianti nel cavo orale sarà composto, nella realizzazione preferita, da un sistema auto-bilanciante passivo formato da una struttura mista parallela seriale (Tavola 1) che sia composta con una sequenza vincolare in cui la prima cerniera ad asse orizzontale (1) sia parte di un quadrilatero piano (cerniere da 1' a 1''') in cui il membro superiore sia prolungato dalla parte opposta al quadrilatero per reggere tramite la cerniera 1''' un opportuno contrappeso (11), mentre i secondi (2), terzo (3) e quarto (4) vincolo siano cerniere ad asse verticale. Alla quarta cerniera viene poi connessa, tramite un quinto membro di forma particolare, che potremmo definire ad S, un'ulteriore cerniera (la quinta), ad asse orizzontale, da cui si dipartono due bracci che sorreggono da ambo i lati, due ulteriori cerniere (6) ad assi coincidenti che sorreggono il piatto (settimo membro della catena cinematica) che sorregge la parte finale che deve poi essere fissata alla bocca del paziente. In tal modo si realizza una cerniera sferica (i tre ultimi assi si incontrano in un unico punto). Tuttavia la presenza di un tale sistema non è vincolante dal punto di vista della realizzazione dell'apparecchiatura, ma nello stesso tempo si rivendica che un sistema auto bilanciato che permetta ad una cerniera sferica di muoversi nello spazio per reggere un'apparecchiatura collegata rigidamente alla bocca è in violazione del presente brevetto. Sul settimo membro, sono poi poste due slitte motorizzate (7 ed 8) ed eventualmente dotate di encoder di controllo i cui assi sono perpendicolari tra loro, essendo uno anche parallelo all'asse della sesta cerniera. Poiché poi le slitte hanno un loro peso, e soprattutto ha un peso ciò che vi viene posto sopra, sono stati aggiunti due opportuni contrappesi mobili (13 e 14), montati su guida fissa, e collegati all'elemento mobile da cavi con due carrucole di rinvio, in modo da mantenere fissa la posizione del baricentro del sistema, che anzi, deve essere posto in corrispondenza del centro della cerniera sferica. Ovviamente anche in questo caso lo spostamento del contrappeso potrebbe essere realizzato anche in altro modo. Ciò sia perché in questo modo il sistema è completamente neutro sulla bocca del paziente, sia perché possa essere ruotato di 180° intorno alla cerniera 5, in modo da essere utilizzato sull'arcata superiore.

Quanto al sistema di ancoraggio all'arcata dentale (superiore o inferiore), esso è composto da una mascherina radio-trasparente a forma di ferro di cavallo, ma sviluppata in altezza per conferirle rigidità, ed al cui interno vi siano annegati elementi radio-opachi ma non metallici (vedi Tavola 2) ad appoggio vestibolare, e bloccata il più rigidamente possibile al capo o al mento, e che sia fornita di quattro piccole pernetti sul bordo superiore in modo da alloggiare in modo univoco una eventuale mascherina anatomica che riproduca esattamente la forma dei denti, che potrebbe essere realizzata successivamente sulla base dei dati rilevati dalla scansione del cavo orale, per un eventuale riposizionamento della mascherina vestibolare, qualora si decidesse di toglierla per poi rimetterla successivamente. Tale mascherina dovrebbe poi essere anche collegata all'esterno della bocca con una ulteriore struttura a ferro di cavallo per il bloccaggio inferiore o a copricapo per quello superiore, che permetta un bloccaggio esterno ad un'altra struttura che dovrebbe avere appoggio esterno, sul mento o sul capo, in modo da rendere la struttura fissata o alla mandibola o al capo, a seconda della parte su cui lavorare. Ad esempio nel caso del mento, si potrebbe organizzare una contro mascherina esterna da fissare a quella ad appoggio vestibolare con opportune viti anche

in materiale radio-trasparente (Tavola 3), mentre nel case dell'arcata superiore, si potrebbe fare una struttura a "cappellino" da fissare esternamente alla mascherina vestibolare tramite le sue appendici esterne (Tavola 4). La parte anteriore della mascherina viene collegata rigidamente al 7° membro della struttura auto-bilanciata, in modo univoco ad un ulteriore elemento (15 di Tavola 1) la cui posizione è regolata sia in altezza che in inclinazione da due motori (9 e 10 sempre di Tavola 1), in modo da controllare che la movimentazione delle slitte avvenga in un piano parallelo al piano dentale.

Quanto al sistema di rilievo della forma dei denti, esso è costituito da un proiettore tipo LCD privato della sua ottica usuale (16 di Tavola 5), la cui proiezione è limitata ad un'area dell'ordine di 1,5 cm² tramite una lente (17) che proietta lungo l'asse ottico (18) verso una mascherina (19) che contiene al suo interno due telecamere ad asse orizzontale (20) e uno sistema basculante (21) di specchi posti su di un unico supporto ma mutuamente inclinati, il cui moto è trasmesso tramite l'astina (22) da uno step-motor, (23), essendo poi il tutto montato su di un piatto basculante azionato da un motore (24) tramite una opportuna camma lungo un asse più basso di quello ottico (25) modo da poter essere inclinato lateralmente. In questo caso le due micro-telecamere avranno direzione di osservazione orizzontale, essendo il loro fascio ottico deviato dal sistema di specchi basculante già citato, in due direzioni inclinate di circa $\pm 10^\circ$ rispetto alla direzione perpendicolare al piano dentale, in modo da osservare la zona della radice dei denti. Ciò è illustrato in Tavola 5. Rispetto a quanto contenuto nella precedente domanda di brevetto, EP07849724.5, si è ridotto il numero di telecamere e introdotto lo specchietto orientabile che permette di variare la zona di osservazione. In alternativa le due telecamere (27 e 28) fissate ad una diversa mascherina (29) potrebbero anche essere poste con l'asse giacente sul piano perpendicolare all'asse ottico del proiettore ma inclinato in direzione del dente da osservare, mentre lo specchio riflettente (26) sarà comunque inclinabile tramite l'asta (30) in modo da permettere l'osservazione nelle zone radicali. La Tavola 6 mostra una sezione trasversale di quest'ultima mascherina porta-telecamere.

Ultimo fondamentale elemento del sistema, il robot di guida per gli impianti che consente di variare l'inclinazione dello stesso in due direzioni, oltre che la penetrazione nel tessuto osseo, in modo da ottimizzare l'utilizzo dei tessuti ossei da una parte, e dall'altra di tener anche conto delle direzioni prevalenti del carico, essendo il tutto montato sulle stesse slitte x, y che caratterizzano il sistema di rilievo di forma, per cui si ottiene un sistema a 5 GDL fissato alla bocca del paziente. Tale Robot sarà realizzato in modo che possa essere agevolmente sostituito al gruppo di rilevazione delle forme.

Molte sono le possibili configurazioni di un sistema a 5 GDL: ci limiteremo a mostrarne una, ma è chiaro che è facile proporre altri. Tuttavia si rivendica che qualsiasi sistema robotico applicato al posizionamento di impianti e supportato da un sistema interamente autobilanciato e reso solidale al capo del paziente, deriva da questa invenzione. Entrando nel dettaglio della configurazione preferita, il sistema si pone innanzi tutto l'obiettivo di ridurre al minimo ciò che deve essere introdotto nella bocca del paziente, limitandosi sostanzialmente al micromotore, che in ogni caso deve esservi introdotto. A tal fine il sistema è essenzialmente un compromesso tra i due primi meccanismi proposti nel brevetto EP07849718.7 in quanto il meccanismo di base è un quadrilatero, ma che viene attivato come un robot parallelo anziché seriale. In particolare (Tavola 7) il motore (31) fa girare una madrevite che tramite un'astina che presenta due cerniere sferiche alle estremità agisce sulla deformazione del quadrilatero, mentre l'encoder assoluto (34) registra l'angolo prodotto. In maniera analoga il motore (32) agisce ancora su una madrevite che, sempre tramite un'astina simile alla precedente, produce l'inclinazione

laterale del quadrilatero, registrata dall'encoder (33). La slitta (35) poi permette l'avanzamento del micromotore (6) nella direzione prestabilita, mentre il bottone (37) consente di bloccare la slitta in posizione verticale nel caso si ponga sulla slitta non un micromotore, ma un sistema per il rilievo del calco orale come il CEREC della SIEMENS o quello della 3M, permettendo di dare un riferimento esterno a questi sistemi.

La procedura di utilizzo è quindi la seguente: inizialmente si parte dalla TAC e si decide operando in realtà virtuale la posizione ottima degli impianti. Una volta stabilito ciò, si installa la mascherina sulla dentatura del paziente, la si assicura con gli strap o con viti in materiale radio-opaco, e si connette l'apparecchiatura.

A questo punto con il doppio quadrilatero bloccato in verticale, il medico, montando un tastatore al posto del micromotore, guida la slitta x,y con il mouse per andare a toccare dei punti particolari della dentatura (punte e fosse) identificandoli sulla rappresentazione 3D della TAC. Da questo il sistema stabilisce la corrispondenza tra la TAC e la bocca del paziente, ed il sistema, passando in modo Robot, guida appunto l'infissione degli impianti nelle posizioni predeterminate.

In alternativa, una volta inserita la mascherina e fissata alla bocca del paziente, si può procedere al rilievo del calco utilizzando il sistema descritto precedentemente, e da questo è possibile realizzare una seconda mascherina anatomica dotata di punti di fissaggio alla mascherina base. Dopo di che si può inviare il paziente a fare la TAC con una delle due mascherine in bocca, e si decide come prima ove posizionare gli impianti. Naturalmente l'utilizzo di questa seconda mascherina consente di togliere e rimettere facilmente le mascherine senza problemi nel riposizionamento, cosa che diverrebbe difficile in caso di mascherina puramente vestibolare.

1. Sistema integrato per il rilievo del calco orale ed il posizionamento di precisione di impianti dentali nello stesso, composta da un sistema di movimentazione attivo nel piano dell'arcata dentale, lungo due assi, su cui sono posti in modo univoco, ma in alternativa, sia un sistema di rilievo della forma del cavo orale, sia un micro-robot capace di cambiare in modo controllato l'inclinazione di una slitta su cui è montato un micromotore implantare onde guidare la preparazione del foro da parte del medico e la successiva infissione dell'impianto dentale esattamente nella posizione prestabilita, essendo il tutto posto su di un braccio reso solidale al capo del paziente tramite una mascherina di fissaggio alla bocca dello stesso la cui posizione può essere regolata in altezza ed inclinazione, in modo che gli strumenti possano essere mossi sul piano dentale rimanendo ad una distanza prefissata dai denti, essendo il braccio di supporto auto – bilanciato ed in grado di seguire i movimenti dello stesso senza esercitare forza alcuna sul capo del paziente stesso.
2. Sistema integrato per il rilievo del calco orale ed il posizionamento di precisione di impianti dentali nello stesso, di cui alla rivendicazione 1, movimentato, rispetto alla bocca del paziente, tramite un doppio sistema di slitte comandate da accoppiamenti vite – madrevite comandati da motori ed in grado di fornire anche con precisione la posizione delle slitte rispetto al piano, in modo da consentire la movimentazione della slitta di guida sul piano dell'arcata dentale lungo due assi ortogonali, guidato da opportuni vincoli prismatici, o da qualsiasi altro sistema di movimentazione che sia però sufficientemente rigido.
3. Sistema integrato per il rilievo del calco orale ed il posizionamento di precisione di impianti dentali nello stesso, di cui alla rivendicazione 1, movimentato sul settimo membro di un sistema a sei gradi di libertà auto-bilanciato con il baricentro del sistema completo montato sul settimo membro coincidente con il centro del polso sferico formato dall'incontro degli assi degli ultimi tre giunti, essendo le slitte fornite anche da contrappeso mobile in modo che il movimento di quanto posto sulle slitte stesse non produca spostamento del baricentro stesso del sistema.
4. Sistema integrato per il rilievo del calco orale ed il posizionamento di precisione di impianti dentali nello stesso, di cui alla rivendicazione 1, fornito di un sistema che permetta di regolare l'inclinazione della slitta di guida del micromotore implantare su due direzioni perpendicolari, onde assumere l'inclinazione prevista dal medico e consistente sia in un robot di tipo parallelo, che in un robot di tipo seriale, o ancor meglio in un sistema misto che possa accoppiarne i pregi.
5. Sistema integrato per il rilievo del calco orale ed il posizionamento di precisione di impianti dentali nello stesso, di cui alla rivendicazione 1 che, nella sua versione per il rilievo del calco orale sarà costituito da un gruppo proiettore e telecamere, in cui le telecamere sono due e poste in orizzontale con un sistema di tre specchi montati su un unico supporto rotante e reciprocamente inclinati, di cui uno dedicato a riflettere la proiezione sul piano orizzontale, e gli altri due che permettono alle telecamere di inquadrare la zona di proiezione, essendo gli specchi orientabili in modo da riflettere i pattern proiettati con piccole angolazioni sia in avanti che indietro, in modo da permettere l'osservazione della zona gengivale, essendo poi tutto il sistema di proiettore e telecamere incernierato su di un asse parallelo alla proiezione ma più basso dell'asse di proiezione, in modo da essere inclinato sui due lati permettendo anche l'osservazione laterale della zona gengivale.
6. Sistema integrato per il rilievo del calco orale ed il posizionamento di precisione di impianti dentali nello stesso, di cui alla rivendicazione 1, che nella sua versione per

il rilievo del calco orale sarà costituito in alternativa alla precedente rivendicazione, da un gruppo proiettore e telecamere, in cui le telecamere sono due con gli assi ottici giacenti in un piano perpendicolare a quello di proiezione, ed un unico specchietto montato su supporto rotante, in modo da riflettere i pattern proiettati con piccole angolazioni sia in avanti che indietro, permettendo così l'osservazione della zona gengivale, essendo poi tutto il sistema di proiettore e telecamere incernierato su di un asse parallelo alla proiezione ma più basso dell'asse di proiezione, in modo da essere inclinato sui due lati permettendo anche l'osservazione laterale della zona gengivale.

7. Sistema integrato per il rilievo del calco orale ed il posizionamento di precisione di impianti dentali nello stesso, di cui alla rivendicazione 1, che sarà completato da una mascherina vestibolare in materiale radiotrasparente ma contenente dei marker radiopachi non metallici che sia abbastanza spessa e con bordi arrotondati sul fondo in modo da distribuire il carico di bloccaggio nel modo più uniforme possibile, e che presenti sulla superficie superiore almeno tre o più pernetti su cui possa essere posizionata successivamente una eventuale mascherina anatomica che presenti l'impronta dentale del paziente rilevata col sistema intraorale, in modo da permettere un eventuale successivo riposizionamento di precisione della mascherina vestibolare, essendo tale mascherina ad appoggio vestibolare collegata rigidamente ad una struttura ad U esterna alla bocca che debba essere collegata tramite opportuni sistemi sufficientemente rigidi (anche viti, purché radiopache) ad una ulteriore struttura esterna simile ma che nella parte interna si appoggi o sotto il mento o sulla testa.

Claims.

1. Integrated system for the intraoral detection of the dental arch and precision positioning of dental implants composed by a 2 DOF prismatic active system able to move in two directions, on which may be placed uniquely either a system to detect the shape of the oral cavity or a micro-robot able to change in a controlled way the inclination of a slide on which an implant micro-motor may be mounted, in order to guide the hole preparation and following implant embedding in the preset position, being the whole device placed on a link fixed to the patient mouth through a special mask whose position may be controlled in height and angulation, so that the instruments may be moved within the mouth keeping a constant distance from the tip of the teeth, being the supporting link possibly self balanced, and able to follow head motion without exerting any force on the patient's head.
2. Integrated system for the intraoral detection of the dental arch and precision positioning of dental implants described in claim 1 moved with respect to the mouth through a twin system of prismatic joints activated by motors acting on worm screws, and able to supply also with precision its position with respect to the plane, in order to allow moving the instruments along the dental arch plane in two perpendicular directions, or driven by any other system of suitable rigidity.
3. Integrated system for the intraoral detection of the dental arch and precision positioning of dental implants described in claim 1 mounted on the seventh link of a 6 DOF self-balanced system, with the center of gravity of the entire seventh link, included the equipment mounted on it sitting on the center, being also the slides equipped with a moving counterweight in order to keep constant the position of the global center of mass.
4. Integrated system for the intraoral detection of the dental arch and precision positioning of dental implants described in claim 1 bearing a system that allows to vary the inclination of the slide driving the micro-motor implant in two perpendicular directions, in order to assume the inclination preset by the doctor and might consist in a parallel robot, or in a serial robot, or, even better in a mixed system that could couple their advantages.
5. Integrated system for the intraoral detection of the dental arch and precision positioning of dental implants described in claim 1 in its version for the intraoral detection of the dental dye will consist in a projector camera system, in which the cameras are two, positioned horizontally, in front of a system of three mirrors, reciprocally inclined and fixed on a rotating frame, of which one is dedicated to reflect the image projected on the horizontal plane, while the other two allow the cameras to see the projection zone, being the mirror's frame rotated by small amounts in order to change the projection inclination to observe the gum's region, being also the entire system hinged on an axis parallel to the projection but lower than this, so as to allow observing also the gum's lateral region.
6. Integrated system for the intraoral detection of the dental arch and precision positioning of dental implants described in claim 1 in its version for the intraoral detection of the dental dye alternatively will consist in a projector camera system, in which the cameras are two with the axes laying on a plane perpendicular to the projection direction, and a single mirror mounted in a rotating frame, in order to change the projection inclination to observe the gum's region, being also the entire

system hinged on an axis parallel to the projection but lower than this, so as to allow observing also the gum's lateral region.

7. Integrated system for the intraoral detection of the dental arch and precision positioning of dental implants described in claim 1 completed by a vestibular mask in radio-transparent material, but containing non metallic radio-opaque markers, thick enough and with rounded edges in the bottom in order to distribute the blocking load evenly, presenting also on the upper surface at least three or more small pins on which a possible second anatomical mask may be univocally positioned, bearing the patient dental embossing detected by the intraoral system, in order to allow a possible second precision positioning of the vestibular mask, being such mask rigidly fixed to a U shaped external structure that must be locked through suitable means (even radio-opaque screws) to a further external structure but that in its inner portion should sit either under the jaw or on the head.

Sommario.

Evoluzione dell'Odonto-Navi-Robot, sistema integrato per il rilievo del calco orale ed il posizionamento di precisione di impianti nel cavo orale.

La presente invenzione descrive un sistema per il rilievo del calco orale ed il posizionamento di precisione di impianti nel cavo orale. Attualmente il posizionamento degli impianti è fatto manualmente dal medico e richiede molta perizia, necessitando di tener conto sia della posizione in cui sarebbe necessario porre l'impianto per il supporto ottimale della protesi, ma anche, e soprattutto, della quantità di osso disponibile per l'infissione dell'impianto stesso nelle varie posizioni. Scopo della presente invenzione è quello di fornire una guida che permetta il posizionamento di precisione in punti predeterminati sulla base di rilievi TAC, in modo da assicurarsi l'ottenimento di due obiettivi di fondo, precisione e tempi ridotti. L'apparecchiatura, che si integra con un sistema ottico di rilievo del calco orale, basato sull'uso di un sistema a luce strutturata, anche descritto nel testo, consiste in un sistema di orientamento a due gradi di libertà di rotazione che guida una slitta che permette l'avanzamento del micromotore implantologico nella direzione dovuta, il tutto posto su di un sistema a due gradi di libertà nel piano dell'arcata dentale, in grado di essere guidato dal medico ma anche di muoversi autonomamente, reso solidale alla dentatura del paziente tramite un sistema a 6 GDL autobilanciante passivo. Tale sistema di orientamento può essere considerato un robot a due gradi di libertà rotoidali ed uno prismatico, e può essere sia del tipo robot seriale, che di tipo parallelo, e viene anche descritto un sistema che combina i due approcci. Viene anche descritta una nuova versione del sistema a luce strutturata per il rilievo del calco orale.

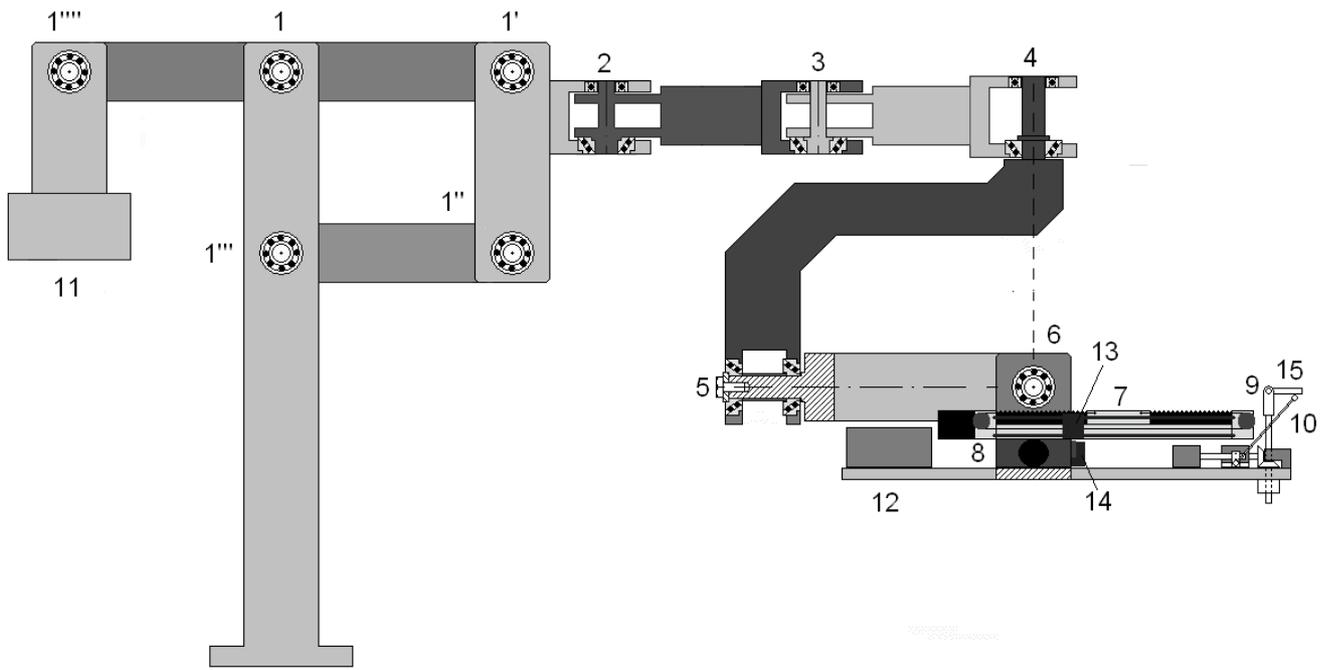


Tavola 1.

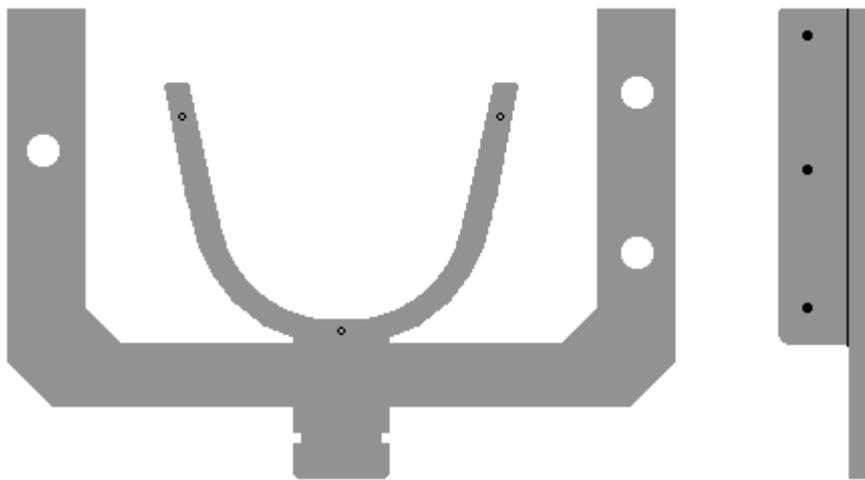


Tavola 2.



Tavola 3.

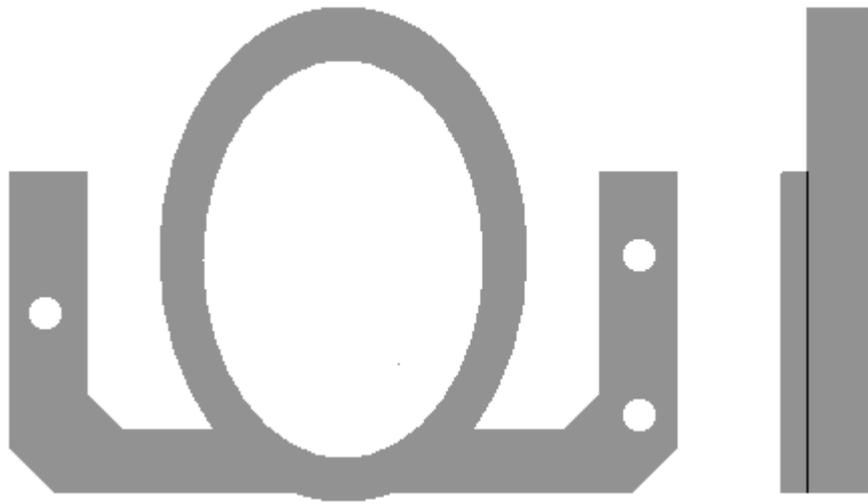


Tavola 4.

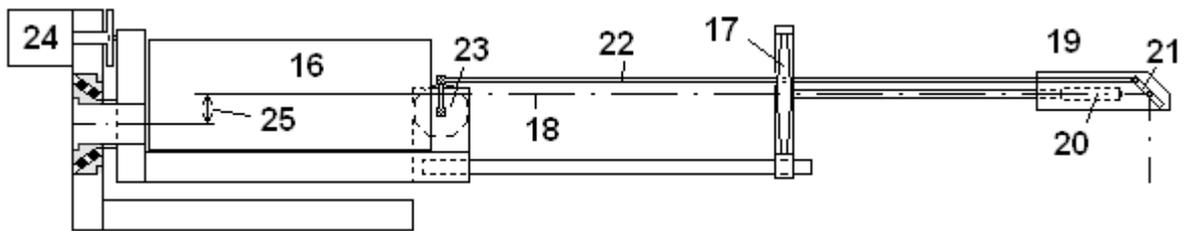


Tavola 5.

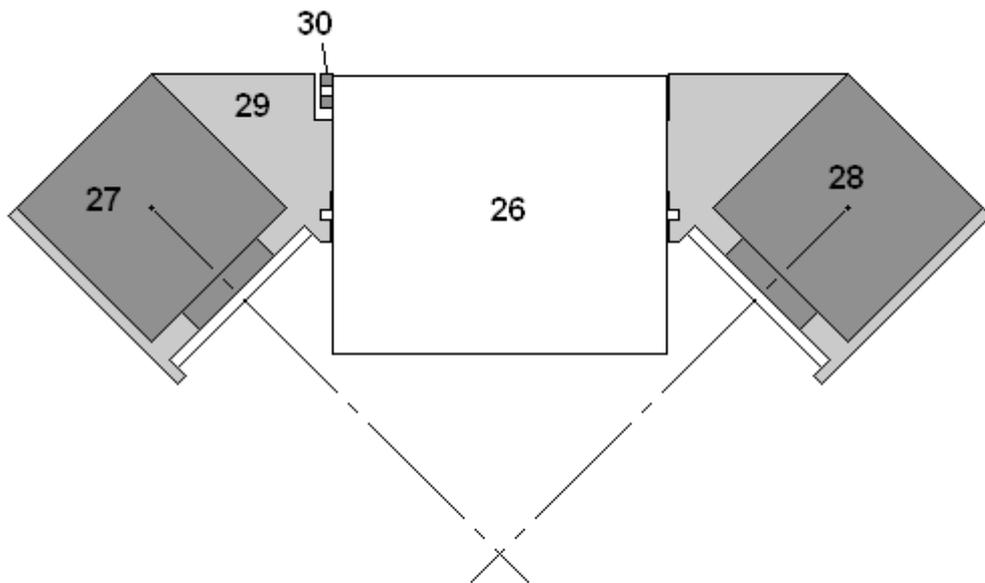


Tavola 6.

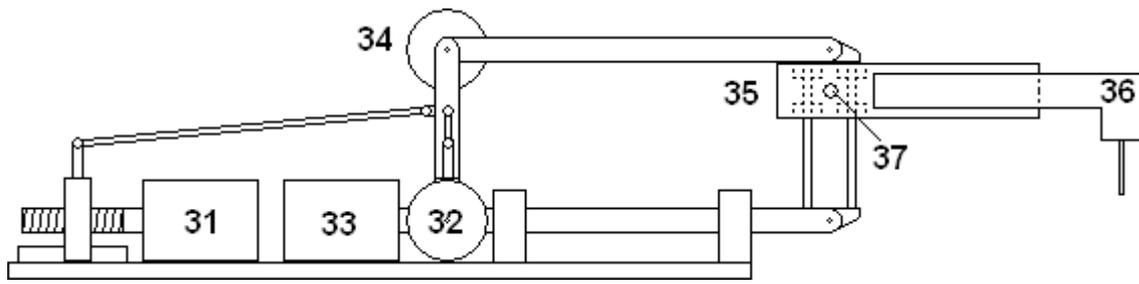


Tavola 7.