



**Politecnico  
di Torino**

**Politecnico di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica  
A.a. 2023/2024

# **Progettazione di un Generatore Elettrico a Pedali per una Comunicazione Sostenibile**

Relatore:  
Prof. Walter Franco

Candidato:  
Marco Finelli

# Sommario

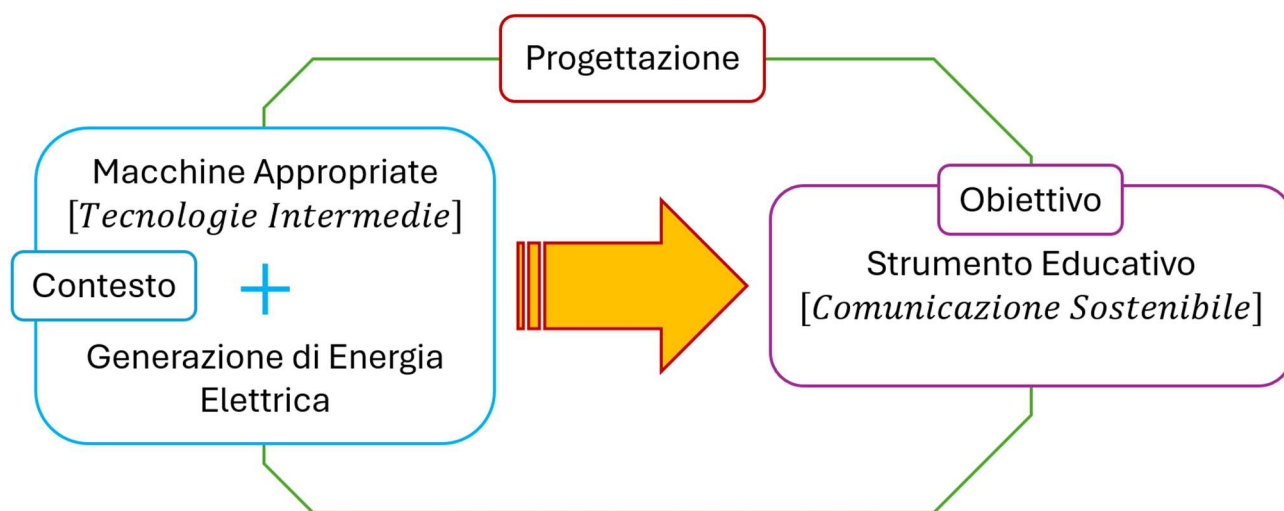
1-Astratto .....	5
2-Le Macchine a Pedali .....	7
2.1-La Situazione nel Resto del Mondo .....	8
3-La Forza Muscolare: una Fonte di Energia Primaria.....	9
4-Tecnologie Intermedie: le Macchine Appropriate.....	11
4.1-Ambiti di Applicazione .....	12
4.2-Casi Studio: Azionamento Meccanico Diretto.....	13
4.2.1-Pedal Powered Mill/Degrainer .....	14
4.2.2-Pedal Powered Washing Machine .....	17
4.2.3-CycloClean.....	19
4.2.4-Bicycle Powered Air Compressor.....	21
4.2.5-Pedal Operated Water Pumping System.....	23
4.2.6-Aggrozouk (Bicitractor).....	25
4.2.7-Lit de Travail .....	28
4.2.8-R2B2 .....	31
4.2.9-Mecihanical Munchy-Maker .....	33
4.2.10-Dual-Purpose Bicycle.....	35
4.2.11-Informazioni Conclusive.....	37
5-Il Generatore Elettrico a Pedali .....	40
5.1-La Trasmissione Meccanica.....	42
5.2-Il Motore/Generatore Elettrico .....	45
5.3-Il Circuito Elettrico.....	48
5.3.1-Le Criticità del Circuito Elettrico .....	50
5.3.1.1-Batteria o Super-condensatore? .....	51
5.4-Casi Studio: Generatore Elettrico a Pedali .....	54
5.4.1-Pedal Powered Electricity Generator Project.....	55
5.4.2-Practical Household Bike Generator .....	56
5.4.3-Pedal Powered Prime Mover (PPPM) .....	59
5.4.4-Cyclette+Alternatore Auto.....	61
5.4.5-Big-Rig.....	63
5.4.6-Human Energy Converter (H.E.C.).....	65
5.4.7-Original Power Box.....	67
5.4.8-Bigfoot 500 Watt Dual Generator Roller System (PPG-R500-AC200).....	69
5.4.9-PedalPC .....	71
5.4.10-Hans Free Electric.....	73

5.4.11-Volta.....	75
5.4.12-GEN-ERG-ATOR .....	77
5.4.13-Electricity Generating Playground Equipment.....	79
5.4.14-Seesaw Power Generator .....	81
5.4.15-Generatore di corrente fai da te .....	83
5.4.16-Informazioni Conclusive.....	85
6-Progettazione e Simulazione .....	88
6.1-Scelte Progettuali Tecniche .....	89
6.1.1-Il Motore/Generatore Elettrico .....	90
6.1.2-La Trasmissione Meccanica .....	91
6.1.3-Il Circuito Elettrico .....	91
6.2-Modellazione Matematica .....	92
6.2.1-Schematizzazione del Sistema .....	93
6.2.2-Utilità dell'Indagine .....	95
6.2.3-I Modelli Dinamici dei Componenti .....	96
6.2.3.1-Ingresso e Trasmissione Meccanica .....	96
6.2.3.2-Generatore Elettrico .....	99
6.2.3.3-Circuito Elettrico ed Uscita .....	100
6.2.4-Il Modello Simulink.....	106
6.2.4.1-Ingresso e Trasmissione Meccanica .....	107
6.2.4.2-Generatore Elettrico .....	109
6.2.4.3-Circuito Elettrico e Uscita .....	110
6.2.4.4-Modello Completo.....	111
6.2.4.5-Script (Matlab).....	113
6.3-Simulazioni e Risultati .....	121
6.3.1-Obiettivo delle Simulazioni.....	121
6.3.2-Variazione delle Dimensioni del Volano .....	122
6.3.3-Scenari con <i>Pgambe</i> Costante ed <i>RU</i> Variabile.....	124
6.3.3.1- <b>RU</b> Costante .....	124
6.3.3.2- <b>RU</b> Crescente .....	126
6.3.3.3-Rapido Aumento di <b>RU</b> .....	128
6.3.3.4- <b>RU</b> Sinusoidale .....	130
6.3.4-Scenari con <i>Pgambe</i> Variabile ed <i>RU</i> Costante.....	132
6.3.4.1- <b>Pgambe</b> Crescente .....	132
6.3.4.2-Rapido Aumento di <b>Pgambe</b> .....	134
6.3.4.3- <b>Pgambe</b> Sinusoidale .....	136

6.3.5-Conclusioni .....	138
7-Modellazione 3D.....	140
7.1-Design: Caratteristiche e Aspetto Generali.....	141
7.2-Il Prototipo Finale .....	142
7.2.1-Disegni e Viste .....	144
7.2.1.1-Scheletri di Supporto .....	145
7.2.1.2-Pannelli Lateral.....	147
7.2.1.3-Alberi .....	149
7.2.1.4-Volano .....	151
7.2.1.5-Pedivelle e Pedali .....	152
7.2.1.6-Corone e Supporto-Corone.....	153
7.2.1.7-Catene .....	155
7.2.1.8-Generatore Elettrico .....	157
7.2.1.9-Pannello di Controllo e Cassetta della Componentistica Elettronica .....	158
7.2.1.10-Cuscinetti .....	159
7.2.1.11-Assieme .....	160
8-Conclusione.....	161
9-Bibliografia .....	162

## 1-Astratto

Le fonti di energia rinnovabili sono uno degli argomenti più sentiti e sofferti nella società moderna, a causa della presenza opprimente del surriscaldamento globale, innescato dal cambiamento climatico, accompagnato contemporaneamente da una richiesta di energetica che continua ad aumentare di anno in anno. L'elettricità è un elemento fondamentale e cardine in qualsiasi paese industrializzato, ma le risorse convenzionali che vengono adoperate per generarla hanno trasformato l'ecosistema in cui viviamo, rendendolo progressivamente inospitale e pericoloso, soprattutto per le generazioni future. Nasce così l'urgenza di individuare, o in certi contesti semplicemente riscoprire, delle soluzioni tecnologiche che permettano alle persone e alle industrie di cambiare il proprio impatto sull'ambiente circostante e al tempo stesso di conservare possibilmente la qualità e le comodità delle attuali condizioni di vita e di produzione. Nel tempo, infatti, si è perso il ricordo di tutti quei macchinari azionati dai muscoli che già nelle più antiche civiltà avevano consentito agli esseri umani di svolgere, in modo agevole, un'ampia gamma di attività altrimenti decisamente faticose. Per questa ragione è cruciale proporre una nuova e inusuale prospettiva sul tema dell'energia muscolare. I dispositivi azionati dalla forza umana, chiaramente, esigono un diverso approccio, che risalti le peculiarità e i vantaggi che a prima vista non sono così evidenti, guardando oltre alle più lampanti limitazioni che emergono quando vengono confrontati con le moderne tecnologie, ancora oggi dipendenti da fonti energetiche "tradizionali" (ad esempio i combustibili fossili). L'intenzione di questa tesi è di progettare un generatore elettrico a pedali in grado di alimentare una postazione multimediale (un PC, una webcam e un microfono), grazie alla quale sarà possibile promuovere e agevolare qualsiasi campagna digitale di sensibilizzazione sul tema della sostenibilità. Parliamo, quindi, di una postazione completamente attrezzata e con un design che le permetta di diventare, in primo luogo, un simbolo attivo nella promozione e nella comunicazione appropriata dello sviluppo sostenibile, ma anche di essere un utile strumento di uso quotidiano. Lo scopo è quello di ideare un prototipo funzionante, capace di erogare una quantità adeguata di elettricità che non ne comprometta la fruizione in modo confortevole, siccome si prevede di impiegare l'energia prodotta per realizzare dirette web che divulghino i reali benefici e l'effettiva validità delle tecnologie intermedie (figura 1).



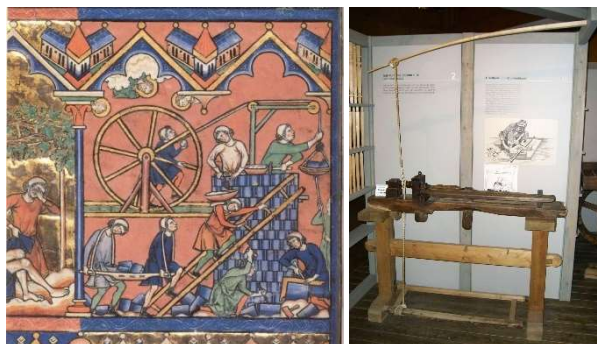
**Figura 1-Obiettivo della Tesi**

Le persone hanno bisogno di una dimostrazione tangibile del potenziale intrinseco custodito nei muscoli, che possa innescare una visione alternativa delle opportunità che offrono queste apparecchiature, in contesti non solo legati alla sola produzione di elettricità. Il progetto fornisce una iniziale panoramica che racconta la storia delle macchine ad azionamento umano, confrontando il passato con il presente, a cui seguirà una comparazione del loro già diffuso impiego nei paesi più poveri e in via di sviluppo rispetto alla società occidentale e le altre nazioni industrializzate. Successivamente

si esamineranno le tecnologie intermedie e le macchine appropriate, soffermandosi in particolare su alcune delle principali soluzioni proposte nel mondo, per dimostrare gli inaspettati benefici che riescono a fornire. In aggiunta quest'ultima analisi concederà anche di evincere qualche spunto utile da replicare in fase di progettazione del generatore a pedali, attinente soprattutto alla parte meccanica. Conclusa questa prima sezione introduttiva, allora avrà effettivamente luogo l'indagine dei generatori elettrici, che consentirà di conoscere quali siano le attività predominanti che sono in grado di svolgere e quali componenti fondamentali servano per poterne costruire uno fai-da-te. Sarà inoltre nuovamente vantaggioso individuare ulteriori casi studio che permettano di esplorare questa volta le soluzioni che vengono già realizzate più di frequenti; cosicché sia possibile selezionare tutte le maggiori accortezze che faciliteranno la creazione di un prototipo. Dopo aver chiarito quali siano le richieste progettuali, allora potrà concretamente incominciare il processo di progettazione, durante il quale si elaborerà un modello di riferimento che riesca a garantire un prodotto efficiente, ma anche pratico, ergonomico, semplice da assemblare e replicare. La tesi verrà completata schematizzando matematicamente l'intero sistema, così da simularne il comportamento in diverse condizioni operative, per poi procedere infine con la modellazione del suo aspetto tridimensionale, che agevolerà la costruzione di un'eventuale prototipo.

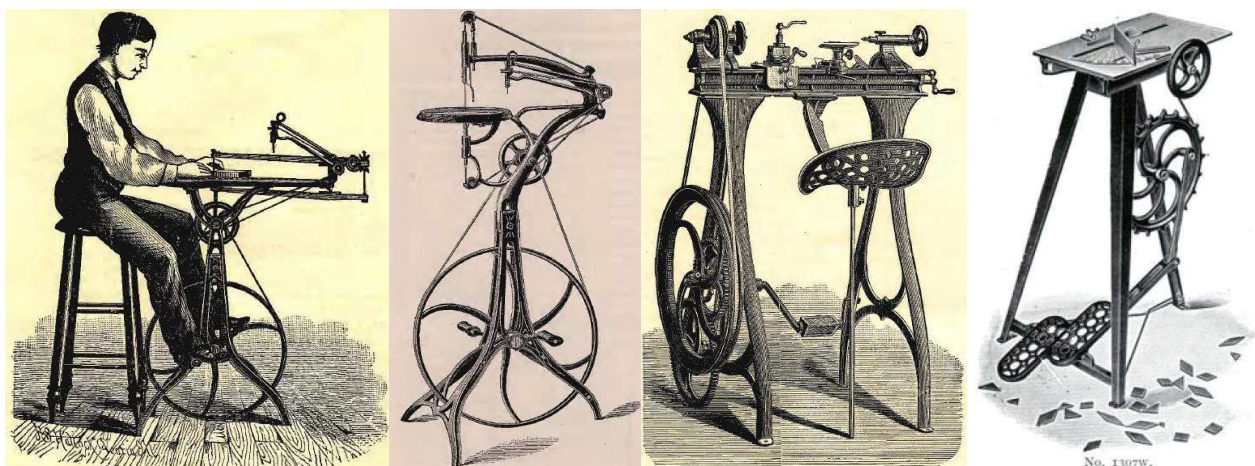
## 2-Le Macchine a Pedali

Uno degli aspetti più importanti che distingue gli esseri umani del resto del regno animale è la loro capacità di superare le proprie limitazioni fisiche al fine di raggiungere un determinato obiettivo. Così l'umanità ha imparato a manipolare il fuoco per cucinare e scaldarci, ha iniziato a costruire strumenti per migliorare l'esito della caccia e poi per coltivare la terra, infine ha appreso come sfruttare il potenziale custodito nei fenomeni naturali, quali il vento, lo scorrere di un fiume e solo recentemente anche i raggi del sole. In questo modo nel tempo sono state sviluppate tecnologie sempre più efficaci ed ingegnose volte a semplificare le attività di tutti i giorni, ma c'era sempre una costante che ha accompagnato il progresso fino a circa la metà del XX secolo: la forza motrice prodotta dai muscoli, umani ed animali. Nella moltitudine di dispositivi attivabili dallo sforzo muscolare di un operatore che sono stati realizzati nel tempo (figura 2), anche noti come "motori animati", sicuramente quelli che ricoprono un ruolo di centrale importanza sono quei macchinari azionati mediante lo sforzo delle gambe.



**Figura 2-Macchine ad azionamento umano medievali (Sinistra: Reed, 2009; Destra: Kühn, 2007)**

Infatti queste macchine coinvolgono alcuni dei muscoli più larghi e potenti del corpo umano (una persona è in grado di produrre quattro volte più potenza con le gambe rispetto a quello che può sviluppare con le braccia), in un moto rotativo continuo (quindi non spiacevole o scomodo per l'utente) e ad una velocità ottimale (tra sessanta e novanta rivoluzioni al minuto) (Wilson, 1986); inoltre permettono di mantenere libere le mani, in modo da consentire contemporaneamente di svolgere altri lavori. Durante la seconda rivoluzione industriale, alla fine del XIX secolo e l'inizio di quello successivo, le macchine a propulsione umana (figura 3), grazie alle nuove tecniche manifatturiere, acquisirono un enorme successo e si diffusero velocemente, conquistando nuove fette di mercato e dando perciò vita all'artigianato moderno e al fai-da-te (Franco, 2023; De Decker, 2011); anche se molte ancora venivano azionate manualmente.



**Figura 3-Macchine a pedali del XX secolo (De Decker, 2011)**

Tuttavia con l'avvento dei combustibili fossile e del generatore elettrico la conoscenza dei macchinari ad azionamento muscolare è prima diventata un ricordo del passato, poi gradualmente è stata dimenticata, fino quasi a svanire completamente. Soltanto con la crisi del petrolio negli anni '70 e il crescente problema del cambiamento climatico dagli anni '90 ad oggi hanno nuovamente riportato l'attenzione delle persone verso quelle tecnologie che erano state abbandonate ed ignorate perché conformi alla nascente visione di produttività e consumismo estremi che si stava facendo strada nella società occidentale agli albori del XX secolo.

## 2.1-La Situazione nel Resto del Mondo

Mentre nei paesi industrializzati solo le crisi energetiche e climatiche portano a rivalutare le macchine ad azionamento con pedali, meritano invece un discorso a parte tutti quei paesi dove un livello di povertà alto è molto diffuso e la disponibilità di energia elettrica è praticamente assente o inconsistente. Infatti sono molte le comunità del "terzo mondo" per le quali il lavoro fisico rappresenta una risorsa che non può essere ignorata, di fatto annoverabile tra quelle rinnovabili, e per questo motivo le macchine animate vengono accolte con grande entusiasmo. Uno degli esempi odierni più famosi è l'organizzazione non governativa (ONG) guatemalteca "Maya Pedal" (figura 4) che progetta e realizza macchinari a partire da biciclette in disuso, "Bicimaquinas", per assistere le comunità in lavori di artigianato, domestici e agricoli, in collaborazione con il MIT (Massachusetts Institute of Technology).



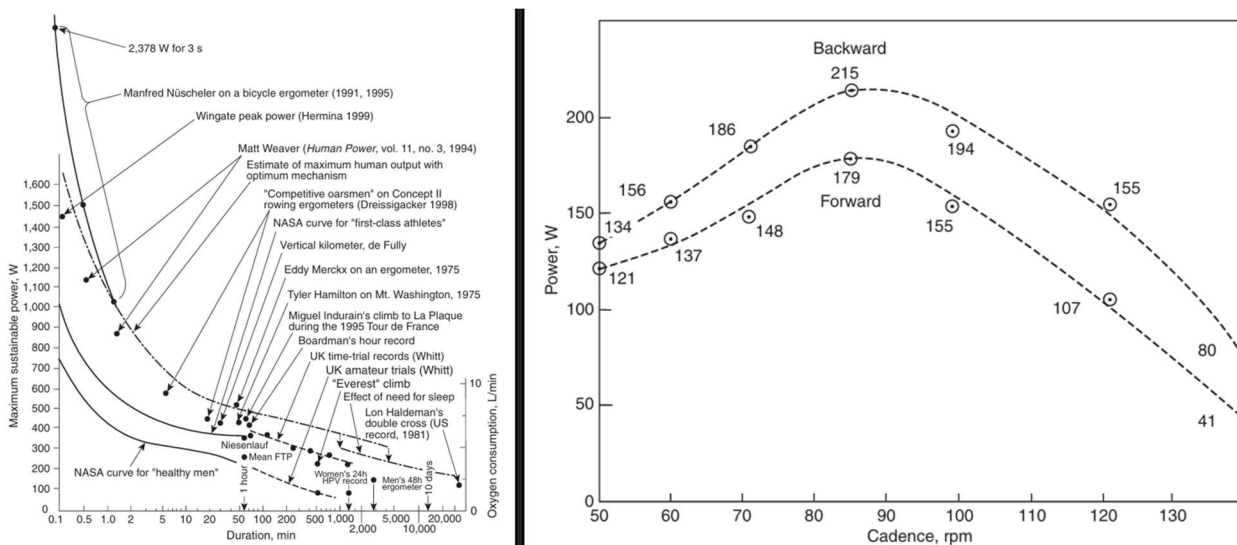
**Figura 4-Logo dell'ONG Maya Pedal (Maya Pedal)**

Esistono comunque diversi altri lavori sostenuti da ONG che assistono e collaborano con paesi quali Africa, Asia e Centro-Sud America con attività indirizzate alla produzione di macchine appropriate, cioè conformi alle esigenze specifiche della popolazione, tecnologicamente semplici e di conseguenza anche facili da mantenere ed aggiustare. Ad esempio l'associazione canadese "Malnutrition Matters" che ha ideato un processo di elaborazione del cibo, la "VitaGoat", suddiviso in quattro stadi, il primo dei quali consiste nell'impiego del sistema "PedalPro-Cycle Grinder" per la macinazione di varie sementi. Anche il "Full Belly Project" ha progettato per le fattorie in Zambia un dispositivo azionato a mano per sgusciare le noci. Quindi, paradossalmente, i paesi poveri e in via di sviluppo stanno edificando delle società volte alla sostenibilità e libere dal giogo dei combustibili fossili.



### 3-La Forza Muscolare: una Fonte di Energia Primaria

Per poter comprendere la riluttanza della società occidentale nell'accettare il lavoro sviluppato dai muscoli come fonte di energia alternativa bisogna innanzitutto individuare quanta energia è in grado di generare una persona adulta. Il corpo umano è "paragonabile" ad un motore termico che però si serve del cibo come carburante da convertire poi in lavoro e dagli studi condotti emerge che entrambi condividano anche delle prestazioni operative molto basse, dell'ordine del 20-30%, a causa della dissipazione sotto forma di calore della maggior parte delle risorse consumate, in entrambi i casi. Tuttavia i rendimenti raggiunti dal metabolismo di una persona nel produrre energia muscolare utile esulano dall'area di competenza delle analisi che verranno condotte. Le informazioni invece più interessanti e rilevanti riguardano la potenza che le gambe di un operatore comune sono in grado di produrre: tipicamente il corpo umano è in grado di fornire mediamente, in modo continuativo, un watt per ogni chilogrammo di massa viva, perciò un uomo adulto di 70 kg può produrre 70 W, per circa dieci ore di lavoro, oppure 200 W per un'ora o anche picchi di 750-1500 W per pochi secondi, come riportato nella figura 5. Questi valori vengono fortemente influenzati dal sesso, l'età, la massa corporea e l'allenamento fisico di ogni singola persona, ma anche dalla muscolatura coinvolta e dalle caratteristiche strutturali del dispositivo, e di conseguenza varieranno da persona a persona e, ovviamente, dallo stato di salute (Franco, 2023). Le applicazioni più frequenti e di maggior interesse, però, richiedono agli operatori dei motori animati lunghi periodi di servizio, spesso continuativi, e conoscere anche la velocità di pedalata ottimale che può essere sostenuta in media durante l'esercizio si rivela estremamente vantaggioso. Molte delle indagini finora condotte sembrano concordare che la velocità ottimale a cui far ruotare i pedali del macchinario si attesti solitamente su valori compresi tra i 60 e i 80 giri al minuto (Coast, 1986).



**Figura 5-Potenza umana sviluppata pedalando (Sinistra: Wilson, 2020); potenza umana massima riferita alla velocità di rotazione (Destra: Wilson, 2020)**

Inoltre uno studio nel 2014 ha osservato che svolgere un'altra attività mentre si sta pedalando, riduce notevolmente la potenza che si è in grado di produrre (Elmer, 2014). Un altro fattore che deve anche essere tenuto in conto è la temperatura dell'ambiente nel quale si sta lavorando, ma soprattutto quella raggiunta dal corpo sotto sforzo. Infatti mentre si sta pedalando una bicicletta su strada, il vento che investe il ciclista esercita una doppia funzione: oltre a costituire un elemento resistente che si oppone al moto, previene pure il surriscaldamento del corpo; in un ambiente chiuso e controllato sia gli aspetti negativi che quelli positivi dell'aria vengono rimossi (De Decker, 2011). Gli studi condotti da David Wilson hanno dimostrato che il surriscaldamento del corpo umano sotto sforzo ricopre un ruolo molto importante sulla quantità di energia che si può fornire pedalando. La potenza prodotta da un ciclista su

strada è considerevolmente più alta rispetto a quella che viene sviluppata in un ambiente chiuso su un Ergometro, ossia una cyclette modificata che misura la potenza erogata mentre si pedala (Wilson, 2020). Se poi si considera il fabbisogno energetico medio di un abitante tipo in Europa, 144 kWh al giorno, sarebbero necessari 180 “batterie umane” che pedalano 8 ore al giorno per generare 100 Wh di potenza (Franco, 2023). Inoltre molto spesso i motori animati sono in grado di svolgere solamente attività mirate, pertanto se vi vuole realizzare un prodotto con questa modalità si dovrà allora tenere in conto che lo spazio richiesto per l’attività di produzione sarà abbastanza esteso. Per questi motivi le macchine a pedali non sono una soluzione compatibile con un contesto dove la necessità di energia primaria per ogni individuo è molto alta per poter garantire uno stile di vita fatto di eccessi e spreco. In aggiunta, se ad esempio si considera un generatore elettrico a pedali, al termine probabilmente di una già estenuata giornata lavorativa una persona mediamente preferisce rilassarsi piuttosto che affaticarsi ulteriormente per quello che comunque si dimostra essere un guadagno quasi unicamente in termini di benessere fisico (derivante dall’attività motoria), ma praticamente impercettibile dal punto di vista economico. Infatti dopo un periodo di 10 ore passate a pedalare, un individuo è in grado di produrre circa 1 kW/h di energia, che corrisponde a poche decine di centesimi di elettricità acquistabile sul mercato. Devono quindi essere le aziende ed i cittadini stessi che volontariamente, in modo attivo e consapevole, decidono di ridurre i consumi ed accontentarsi di uno stile di vita più morigerato e modesto.

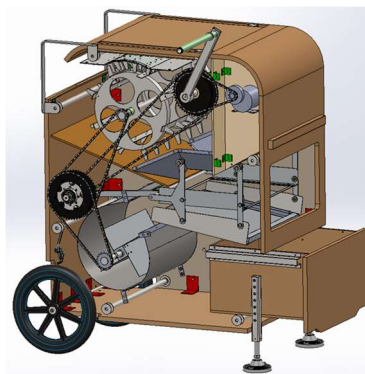
## 4-Tecnologie Intermedie: le Macchine Appropriate

Sono sempre più frequenti le associazioni in tutto il mondo intenzionate a rivoluzionare le abitudini che caratterizzano la società occidentale proponendo nuove soluzioni, su scala locale, che prevedono l'impiego di tecnologie appropriate, spesso progettando in ambienti open source e dal basso, per la produzione di beni di prima necessità. Tra le crescenti iniziative in ambito agricolo si annoverano i prototipi realizzati dalla cooperativa Farming Soul, con l'assistenza de l'Atelier Paysan, o quelli sviluppati da Farm Hack, in entrambi i casi con lo scopo di assistere i contadini nella coltivazione dei loro campi. Non mancano poi le associazioni che organizzano incontri volti alla promozione della sostenibilità e dell'inclusività, come il progetto Pedal Power, dell'Associazione Collettiva Trasforma, che consiste di un'installazione di bici-generatore usate per produrre energia elettrica ed alimentare diverse apparecchiature negli eventi culturali grazie al coinvolgimento del pubblico, quali ad esempio spettacoli teatrali, cinema all'aperto, concerti ed altro ancora. Un altro ottimo esempio lo rappresenta l'agenzia di marketing Eco Renewable Energy, amministrata da due fratelli, che organizza eventi volti alla sostenibilità e alle fonti di energie rinnovabili, ma realizza pure installazioni innovative che permettono di ricaricare i propri dispositivi con pannelli solari o generatori elettrici a pedali (figura 6).



**Figura 6-Installazioni permanenti sviluppata da Eco Renewable Energy (Eco Renewable Energy)**

Così anche in contesti universitari è cresciuto l'interesse e l'attenzione per progetti e attività che trattano tematiche quali la sostenibilità ambientale, l'inclusività e la giustizia sociale, in modo tale da incoraggiare gli studenti a concretizzare soluzioni creative che abbiano un impatto positivo sulla società. Il Politecnico di Torino, ad esempio, ha istituito attività didattiche e di ricerca, progetti e collaborazioni con l'intento di insegnare, valorizzare e promuovere varie tematiche legate all'innovazione sociale e tecnologica (figura 7); in questo senso l'insegnamento Design for Social Impact, del corso di laurea in Design e Comunicazione, si è dimostrata una delle esperienze più valide e riuscite nella formazione degli studenti.



**Figura 7-Trebbiatrice “Re-Thresher” sviluppata dal Politecnico di Torino (Serraglio, 2019)**

La rinnovata attenzione verso le tecnologie intermedie (Schumacher, 1973), ossia macchine che si collocano a metà strada tra le soluzioni rudimentali e quelle moderne della società industriale, ha

permesso lo sviluppo di dispositivi capaci di aumentare la produttività e ridurre di conseguenza la fatica, soprattutto in comunità a basso reddito e in zone rurali, dove l'unico mezzo di sostentamento è l'agricoltura e l'artigianato. Nel passato l'inefficienza dei motori animati era causata sostanzialmente da un errato impiego della muscolatura umana (l'azionamento avveniva spesso mediante le braccia e non con le gambe) e a conoscenze tecnico-scientifiche limitate, ha favorito la diffusione di appellativi non molto lusinghieri ("macchine a sangue") per questi macchinari. Oggi, però, una trebbiatrice a pedali è in grado di aumentare la produttività di 2,5-7 volte rispetto ad un modello tradizionale a mano (Fuller, 2012). Proprio attorno a queste condizioni viene coniato e si fa strada con un crescente consenso il concetto di macchine appropriate, cioè quelle tecnologie sviluppate per adattarsi al contesto psicosociale e biofisico prevalente in un particolare luogo e periodo. Si tratta di tecnologie che rispondono a requisiti psicologici, sociali, culturali, ambientali, economici, di costruzione, uso e manutenzione declinati su scala locale (Franco, 2023). Il crescente ottimismo verso queste soluzioni, che cercano in altre parole di contrastare i problemi socio-economico-ambientali moderni, viene giustificato se si considera che la forza muscolare non solo può essere considerata di fatto una fonte di energia alternativa e rinnovabile, ma questi dispositivi possono garantire anche uno stile di vita più sano grazie all'uso più efficace dello sforzo fisico derivante dal loro utilizzo. Tra tutti i motori animati mai progettati, quelli a pedali indubbiamente incarnano pienamente tutti gli ideali che una tecnologia appropriata dovrebbe possedere; tuttavia oltre al tipo di azionamento è necessario effettuare un'ulteriore classificazione. Infatti esistono due modalità principali che permettono di trasformare la potenza muscolare delle gambe in lavoro per un utensile: sfruttando una trasmissione meccanica diretta oppure producendo energia elettrica con un generatore. Ora, sebbene l'oggetto di studio della tesi sia quello di realizzare un generatore elettrico a pedali rispettando le caratteristiche proprie delle macchine appropriate, in prima battuta verranno comunque analizzate le soluzioni ad azionamento diretto, successivamente i generatori elettrici a pedali.

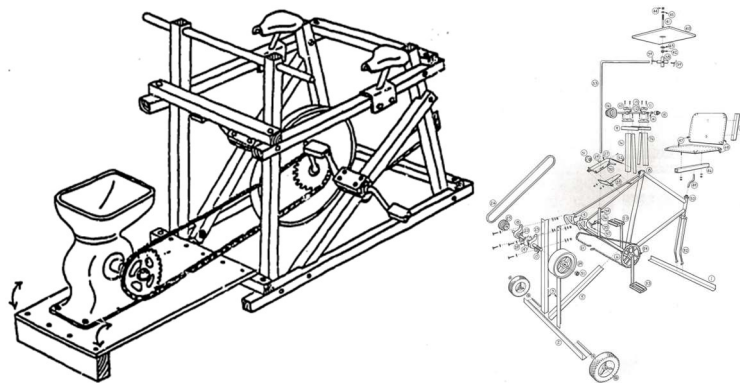
## 4.1-Ambiti di Applicazione

Le sfide socioeconomiche ed ambientali hanno, oggi più che mai, permesso alle macchine ad energia umana di prosperare, favorendo uno slancio verso innovazioni e nuove soluzioni capaci di contribuire ad una maggiore sostenibilità nelle faccende quotidiane e nel lavoro delle persone. Gli utensili ed i motori ad azionamento muscolare sono le prime invenzioni nate dall'ingegno umano e hanno permesso di plasmare il mondo circostante sulla base delle esigenze, offrendo un'ampia varietà di applicazione, come il trasporto, l'agricoltura, l'artigianato e molto altro ancora; a patto, però, che si accetti una minore produttività rispetto ad apparecchiature più invasive dal punto di vista dell'impatto ambientale. Il contesto rurale è dove probabilmente l'utilità di questi dispositivi ha la possibilità di esprimersi al meglio. Infatti le ristrettezze economiche e la scarsa disponibilità delle risorse energetiche convenzionali, quali i combustibili fossili e l'elettricità, hanno sicuramente incoraggiato la loro diffusione in questi ambiti. Essi permettono di facilitare il lavoro fisico e contemporaneamente ridurre il tempo necessario a completarlo, consentendo così di migliorare concretamente le condizioni di vita ed il benessere delle persone in queste comunità. Il lavoro dei campi, fare il bucato, pompare l'acqua e così via, non sono le uniche attività che i motori animati sono in grado di semplificare. La storia insegna appunto che tra i primi dispositivi ad azionamento muscolare mai realizzati si incontrano le macchine utilizzate dagli artigiani. L'artigianato, quindi, è un altro contesto che, nel rispetto dell'ecosostenibilità, gioverebbe enormemente del contributo di queste invenzioni. Inoltre la produttività richiesta non raggiunge i livelli insostenibili dell'industria, pertanto una riconversione delle apparecchiature, che si prestano molto bene ad un azionamento muscolare, non rappresenta una richiesta irraggiungibile o irragionevole. L'ambito urbano invece è quello che in termini ambientali gioverebbe di più di una transizione verso forme di energia rinnovabili. Nei paesi industrializzati la follia che si è diffusa a causa dei ritmi lavorativi irragionevoli è stata alimentata in particolar modo dalle richieste di produttività sempre maggiori, portando ad un'alienazione dell'individuo dal mondo che lo

circonda e ad un malessere psicofisico non trascurabile. L'abbondanza delle risorse naturali primarie, una condizione irripetibile destinata a non durare ancora a lungo, hanno permesso una crescente indifferenza verso lo spreco e favorito delle abitudini per niente salutari. Il libro "Human powered home" di Tamara Dean (2008) dimostra e documenta che il contesto casalingo può essere completamente rinnovato adottando soluzioni che impiegano l'energia muscolare per gestire le differenti necessità che insorgono nelle abitazioni delle persone, durante un giorno qualsiasi. Si tratta comunque di consigli che male si adattano ai costumi ipertecnologici e consumistici della società occidentale, perciò è imprescindibile uno sforzo attivo dei cittadini e delle industrie nel cambiare questo stile di vita.

## 4.2-Casi Studio: Azionamento Meccanico Diretto

Durante il trasferimento o la trasformazione dell'energia non esiste alcun procedimento che sia in grado di garantire delle perdite nulle, quindi un macchinario che rielabora eccessivamente la potenza che riceve, tipicamente non è in grado di soddisfare dei rendimenti molto alti. Per questo motivo la tecnologia intermedia per eccellenza è la bicicletta, una soluzione semplice, elegante e piuttosto efficiente, oramai ampiamente consolidata in decenni di studi e ricerche. Perciò le macchine azionate a pedali dovrebbero essere adoperate, preferibilmente, per azionare meccanicamente e in modo diretto altri utensili, e non per generare energia elettrica. Il trasferimento diretto della potenza muscolare risulta inequivocabilmente più appropriato e con perdite minori, ma permette in molti casi di essere impiegato per alimentare un solo strumento alla volta e pertanto completare più attività richiederebbe ulteriori apparecchiature e spazio. Per ovviare a questo inconveniente negli anni '70 sono state progettate un certo numero di dispositivi capaci di azionare più apparecchiature (figura 8), ma non contemporaneamente, di conseguenza era necessario scollegarne una prima di poter utilizzare quella seguente. In alternativa è possibile servirsi di un generatore elettrico a pedali per azionare i dispositivi, anche se questo approccio ha dimostrato di non essere molto efficiente (De Decker, 2011).



**Figura 8-Disegno del Dynapod (Sinistra: Weir,1980), disegno dell'esploso dell'Energy Cycle (Destra: McCullagh, 1977)**

Quindi nell'ottica di un rinnovamento sociale volto a ridurre considerevolmente la dipendenza dai combustibili fossili, per una maggiore ecosostenibilità, verranno individuate ed analizzate quelle macchine appropriate, ad azionamento diretto, che potranno contribuire efficacemente, poiché ricoprono un ruolo indispensabile nella società moderna, allo sviluppo di comunità ed abitudini più salutari ed ecosostenibili. L'intento è quello di osservare alcuni progetti concretizzati in tutto il mondo ed estrapolare le loro peculiarità principali, che successivamente potranno essere utili a determinare delle soluzioni adeguate, per quanto riguarda la parte di trasmissione meccanica del moto, durante la progettazione del generatore elettrico a pedali. In aggiunta verrà anche verificato che i casi studio scelti soddisfino ovviamente tutti i requisiti caratteristici richiesti alle tecnologie appropriate: semplici ed economiche da realizzare e da mantenere, minime perdite energetiche nel trasferimento meccanico della potenza (efficienti) e rispettose dell'ambiente.

## 4.2.1-Pedal Powered Mill/Degrainer

Un progetto di Carlos Marroquin, per Maya Pedal (Marroquin, 2010).

- **Contesto**

Il sistema di alimentazione a pedali con seduta presentato da Maya Pedal permette di utilizzare una moltitudine di applicazioni, anche se i principali impieghi riguardano la trebbiatura del mais o la macinazione dei semi di soia, del caffè o del mais giallo.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 9**

- **Funzionamento**

Per poter operare il macchinario non sono richieste o previste specifiche competenze, perciò possono utilizzarlo bambini, adulti e anziani senza alcun tipo di problema, anche grazie alla presenza di un volano che assiste l'operatore garantendo delle migliori condizioni di lavoro. Dopo aver preso posto sul sedile montato sulla parte superiore del dispositivo, la cui distanza dai pedali può essere regolata per una migliore ergonomia, basterà iniziare a pedalare per trasferire la forza muscolare sviluppata dalle gambe all'apparecchiatura che è stata installata sul dispositivo.

- **Dettagli Tecnici**

Maya Pedal fornisce delle istruzioni che permettono di riprodurre lo stesso prodotto utilizzando materiali riciclati e quindi semplici da reperire. Il telaio in acciaio è stato realizzato a partire da una vecchia bicicletta e delle sbarre saldate tra loro, mentre per il volano è stata impiegata una ruota da 20" di una bici riempita con del cemento per appesantirla. Per quanto riguarda la trasmissione del movimento sono state impiegate due catene, la prima collega i pedali al volano, mentre la seconda connette il volano all'utensile che è stato installato; inoltre è anche presente un deragliatore che permette di adattare l'intensità della pedalata in base alle esigenze dell'operatore.

Il modello realizzato da Maya Pedal permette di macinare circa 1.4 kg al minuto di un qualsiasi tipologia di grano o chicchi di caffè, oppure di sgranare dai 12 ai 15 quintali al giorno di mais, e come molti altri loro prodotti, Bicimaquina, è prevista una vita utile di oltre 20 anni.

o **Particolari e Disegni**



Figura 10.a

## Construction Drawings

All dimensions are in millimeters

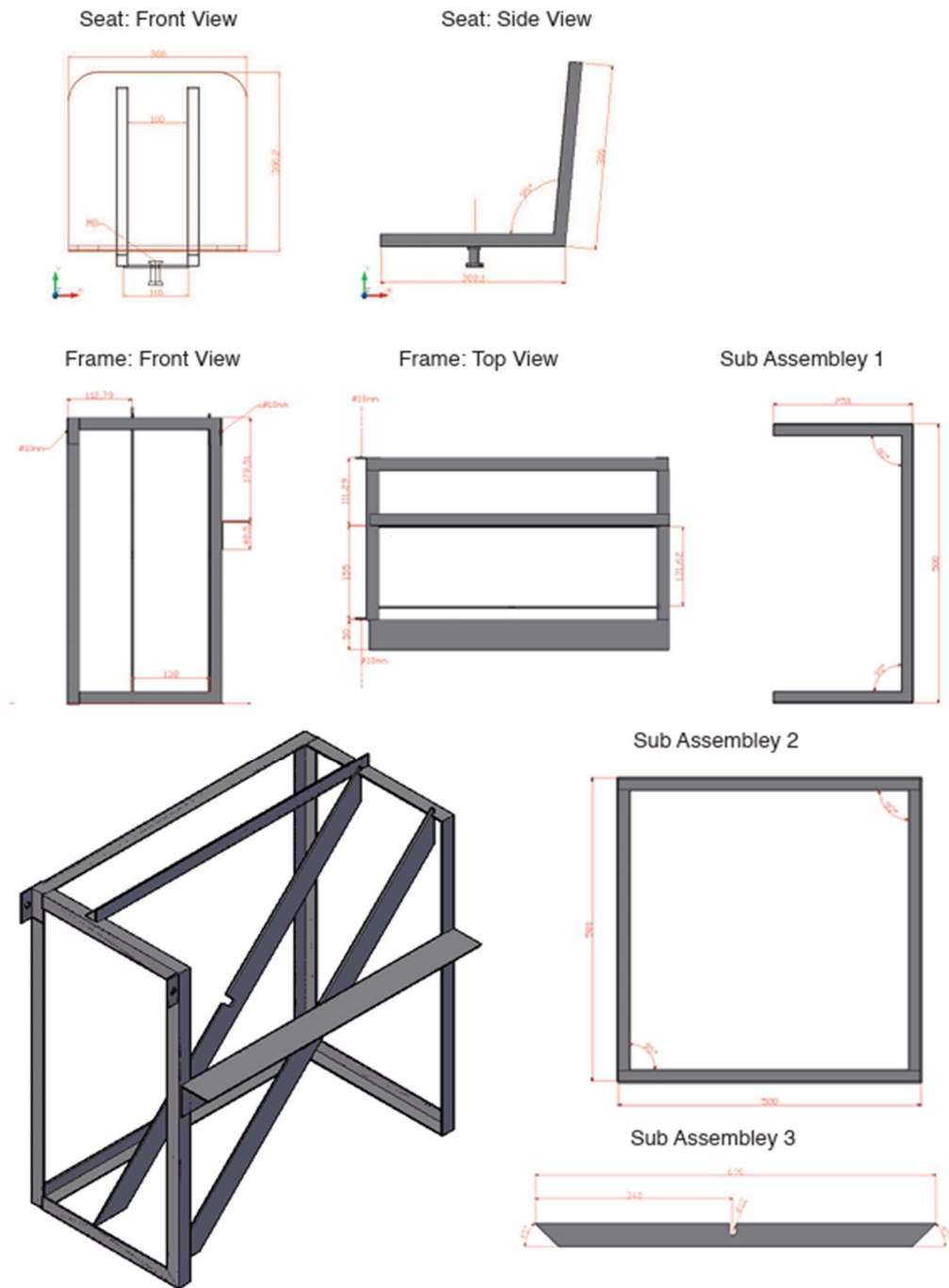


Figura 9.b



## 4.2.2-Pedal Powered Washing Machine

Un progetto di Tawanda Mushiri, Tererai J. Mugova e Charles Mbohwa (Mushiri, 2017).

- **Contesto**

Macchina utile per lavare i vestiti in luoghi dove non è presente una rete elettrica oppure i costi per acquistare una nuova lavatrice non sono sostenibili. Rappresenta un'ottima alternativa poiché permette di risparmiare molto tempo rispetto al caso in cui si dovessero lavare manualmente gli indumenti o tessuti in generale.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 11**

- **Funzionamento**

Il contenitore cilindrico esterno presenta un coperchio grazie al quale è possibile inserire all'interno i vestiti, il detersivo e da 5 a 10 litri di acqua. Posizionata poi una sedia alla debita distanza è possibile iniziare il lavaggio degli indumenti azionando i pedali, per una durata di 15-20 minuti. Al termine di questo periodo di tempo si aprono le viti di drenaggio posizionate sul fondo del telaio per estrarre l'acqua insaponata e sostituirla, se necessario, con della nuova acqua così da effettuare un risciacquo. Finito il risciacquo si procede con l'asciugatura, durante la quale è necessario pedalare più velocemente per garantire l'effetto della normale centrifuga.

- **Dettagli Tecnici**

Il dispositivo è composto da una ruota dentate azionata con dei pedali, una catena, una corona posteriore che funge anche da volano, un albero per il trasferimento della potenza dalla corona posteriore al cestello interno, un contenitore cilindrico esterno che ospita un cestello forato al uso interno. Si consiglia di effettuare la manutenzione del macchinario regolarmente ogni 5 anni, prestando particolare attenzione alla catena, il pignone e le ruote dentate.

○ **Particolari e Disegni**

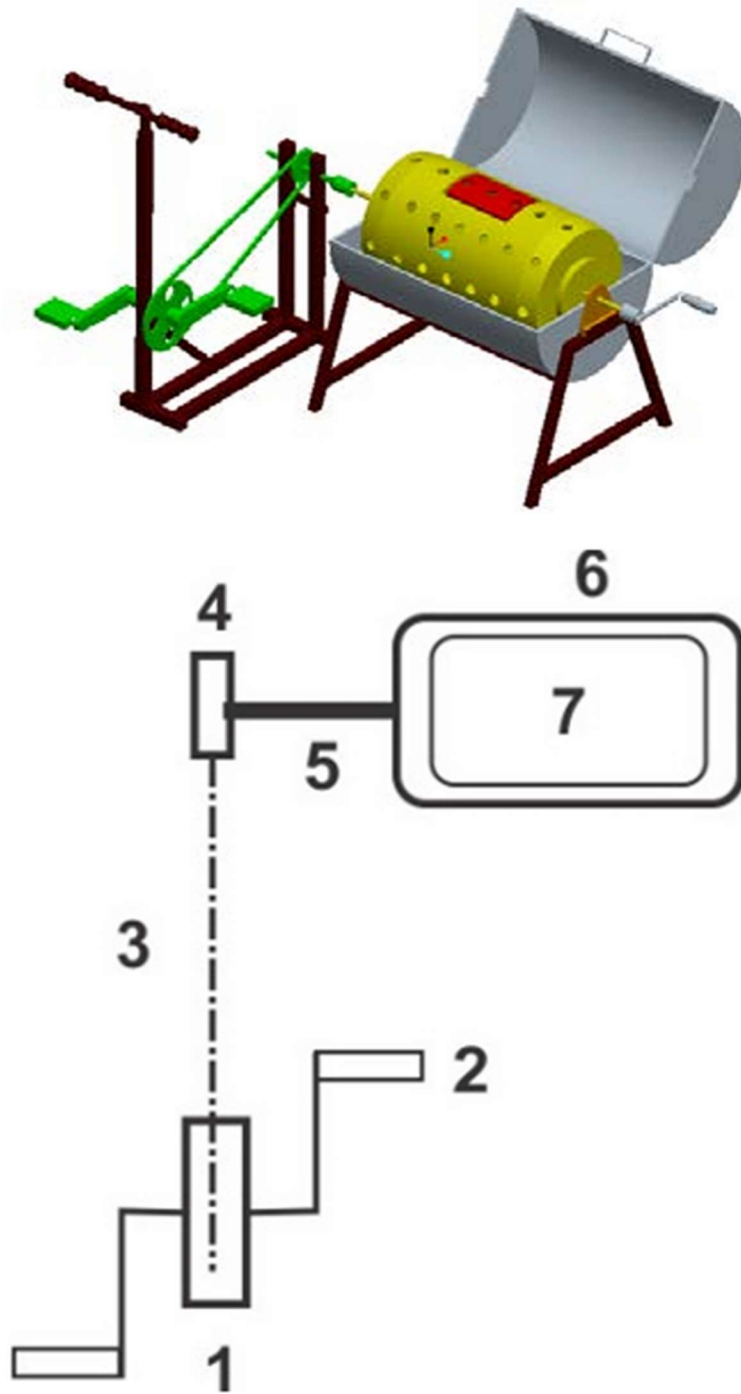


Figura 12

### 4.2.3-CycloClean

Un progetto di Radhika Mundra (Mundra, 2015).

- **Contesto**

Il dispositivo serve a purificare l'acqua in un contesto casalingo o per piccole-medie imprese.

- **Immagine d'Insieme**



Figura 13

- **Funzionamento**

Il CycloClean può essere impiegato sia come mezzo di trasporto (bicicletta) oppure come un depuratore d'acqua grazie ad un dispositivo montato sulla parte posteriore del veicolo. La purificazione dell'acqua sporca viene effettuata semplicemente pedalando (senza l'ausilio di motori esterni), così da poter azionare una pompa che preleva l'acqua dall'alimentazione e la conduce verso i filtri, fino all'uscita.

- **Dettagli Tecnici**

Il dispositivo è composto da una semplice bicicletta dotata di un portapacchi posteriore sul quale è stato fissato un sistema di purificazione dell'acqua sporca, composto da quattro filtri ed una pompa, azionata dai pedali, per far circolare l'acqua. I quattro filtri si suddividono in un prefiltro, un filtro a membrana microfiltrate, un filtro a carbone ibrido ed un filtro primario. Questa apparecchiatura è in grado di ripulire le impurità da acqua molto sporca (pozzanghere, fiumi o laghi), purché non sia contaminata o gassosa, e garantire 5-6 litri di acqua purificata al minuto; l'acqua salata non può essere in nessun caso utilizzata poiché il sistema di purificazione ne verrebbe compromesso. Le dimensioni complessive sono 620x1,780x1,100 mm e pesa 50 kg.

○ **Particolari e Disegni**

**NEW Cycloclean®** Bicycle water purification system made in Japan

Items	<b>New Cycloclean</b> (Made in Japan)	Cycloclean is patented in Japan, U.S.A., China, and Taiwan.
Parts for filtering	MF hollow fiber membrane / Hybrid activate carbon filter / Primary filter	
Filtration	Muddiness, bacteria, smell	
Applicable water resource	Water in the river, lakes and resource for city water supply, and pool water and tank water for fire.	
Processing capacity	With fresh water: 5.0 liter/min	
Outline measure & weight	W 620 x L 1,780 x H 1,100 mm	about 50 kg

**NEW Cycloclean®** Bicycle water purification system made in Bangladesh

Items	<b>New Cycloclean</b> (Made in Bangladesh)	
Parts for filtering	Cotton filter (5micron nominal) / Hybrid activate carbon / MF hollow fiber membrane	
Filtration	Suspends solid (more than 0.1micron), Bacteria, smell	
Applicable water resource	Water in the river, lake with living organisms, swimming pool water, tank water and well water	
Processing capacity	With fresh water: 5.0 liter/min at 70rpm with pedaling	
Outline measure & weight	W 406 x L 1,676 x H 1,016 mm	about 35 kg

**Cycloaqua®** Bicycle water purification system made in Bangladesh

Items	<b>Cycloaqua</b> (Made in Bangladesh)	
Parts for filtering	Cotton filter (5micron nominal) / Hybrid activate carbon / MF hollow fiber membrane	
Filtration	Suspends solid (more than 0.1micron), Bacteria, smell	
Applicable water resource	Water in the river, lake with living organisms, swimming pool water, tank water and well water	
Processing capacity	With fresh water: 3.0 liter/min at 70rpm with pedaling	
Outline measure & weight	W 305 x L 1,676 x H 1,016 mm	about 29 kg

Nippon Basic Co., Ltd

2-42-3-301, Kamikodanaka, Nakahara-ku, Kawasaki City, Kanagawa 211-0053 JAPAN  
<http://www.nipponbasic.ecnet.jp> E-mail: nipponbasic@ceres.ocn.ne.jp

ACE201904c

**Figura 14**

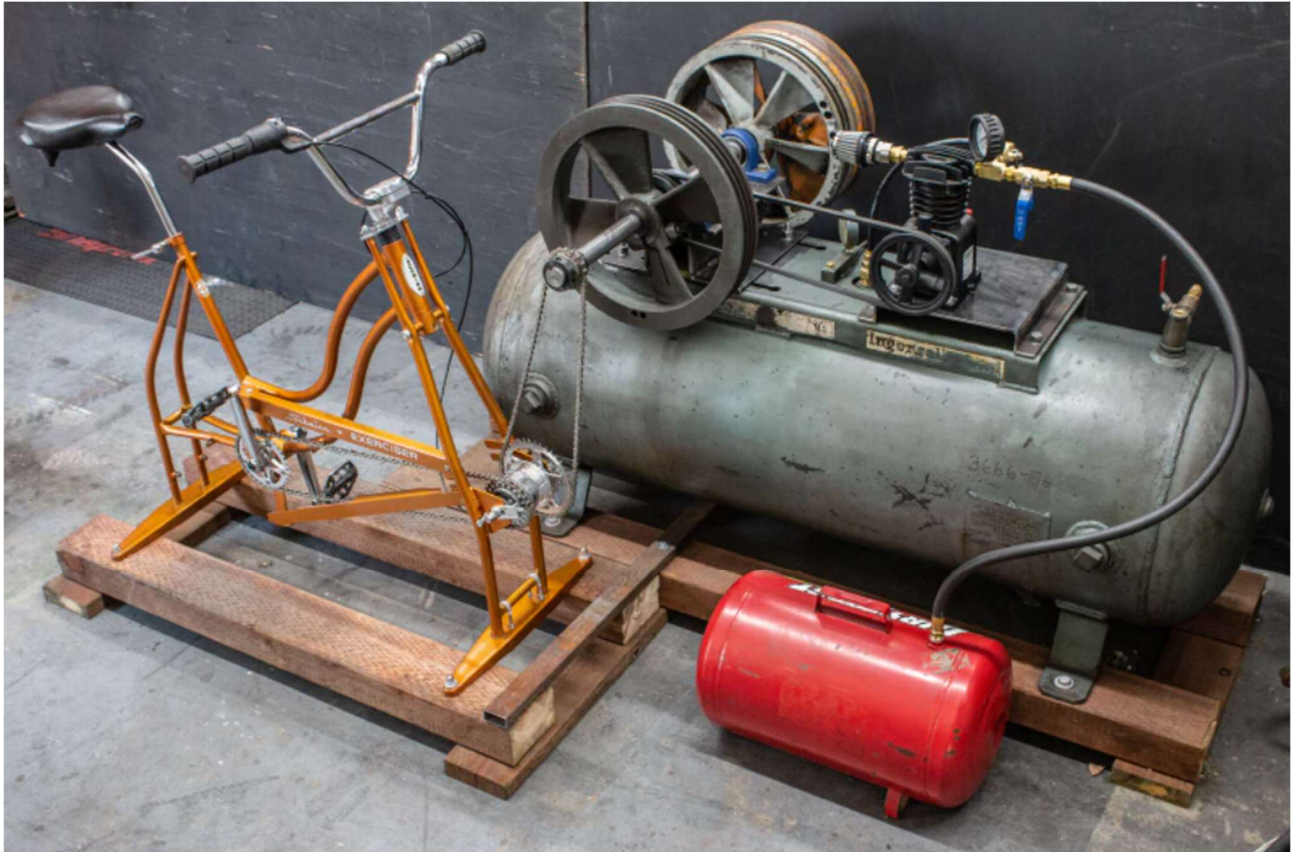
## 4.2.4-Bicycle Powered Air Compressor

Un progetto di Andy Lagzdins (Lagzdins, 2023).

- **Contesto**

Progettato per alimentare degli utensili azionati ad aria compressa in un'officina per motociclette.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 15**

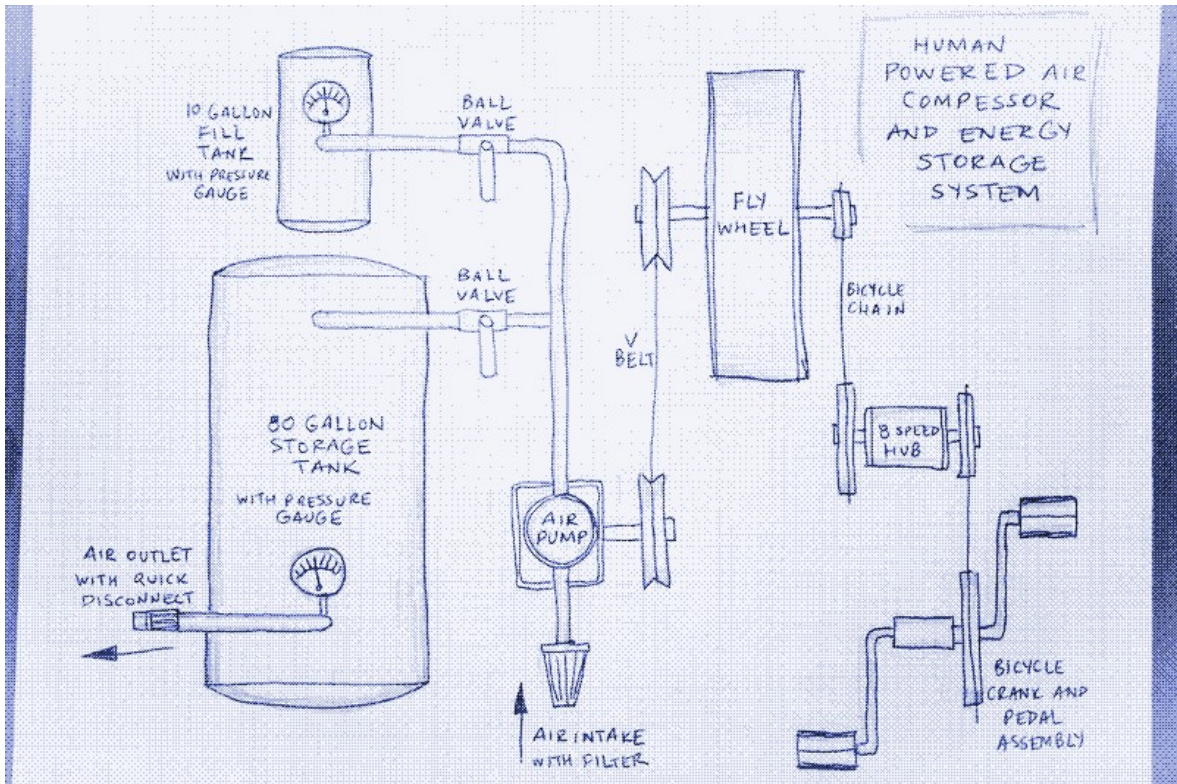
- **Funzionamento**

Il Bicycle powered air compressor permette di comprimere l'aria e così alimentare tutti gli utensili che sfruttano l'aria compressa per funzionare, grazie alla sola energia muscolare dell'operatore che pedala. Il macchinario è costruito quasi completamente a partire da componenti riciclati e può quindi essere impiegato in qualsiasi luogo, anche in zone remote. Secondo le specifiche del progettista è preferibile prima alimentare il serbatoio più grande fino a 50 psi, poi riempire quello più piccolo fino a 10 psi per poi scaricarlo in quello grande.

- **Dettagli Tecnici**

Per realizzare il progetto sono necessari un serbatoio d'aria principale (80 galloni, Horizontal, Ingersoll Rand), uno secondario più piccolo (10 galloni, 125psi, SnapOn), un compressore volumetrico (singolo stadio, 1hp Max, 115psi, Speedaire 40KH94), una bici stazionaria (Schwinn Exerciser), una trasmissione a variazione continua per biciclette (8 velocità, Sturmey Archer S80 XRK8), dei volani in ghisa (16" diameter, 1 3/8" bore), dei cuscinetti (P207 sigillato, autocentranti, con supporto), una cinghia-V (Serie 4L), delle catene (1/2x1/8 KMC Z1EHX Wide), delle valvole (valvole a sfera 1/2" NPT, ottone) e un filtro per l'aria (K&N pod, tessuto e mesh in acciaio).

○ **Particolari e Disegni**



**Figura 16**

## 4.2.5-Pedal Operated Water Pumping System

Un progetto di Madhukesh, Madesh M, Mahadevaiah A, Anil Kumar D e Balaji V (Madhukesh, 2016).

- **Contesto**

Consente di risparmiare molta fatica derivante da situazioni dove l'acqua viene normalmente fornita da autocisterne e raccolta in recipienti, per essere poi trasportata a mano nelle abitazioni, soprattutto a coloro che vivono al primo piano di un edificio, semplicemente collegando il camion cisterna alla pompa a pedali per consegnare l'acqua direttamente a chi ne ha bisogno.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 17**

- **Funzionamento**

Il dispositivo può essere trasportato e collocato dove si preferisce e per adoperarlo è sufficiente una sola persona, alla quale viene richiesto soltanto di pedalare. Quindi la gestione della pompa è molto semplice, la manutenzione richiesta è minima e a basso costo; inoltre grazie all'elevata efficienza, gli sprechi d'acqua sono praticamente assenti.

- **Dettagli Tecnici**

Le parti che compongono la pompa a pedali sono una pompa a mano classica, un sistema d'azionamento a pedali, direttamente collegati alla maniglia della pompa mediante un'asta. Sono anche necessari una valvola a sfera posta all'uscita dell'apparecchio, per attivare o interrompere il flusso d'acqua, dei raccordi per tubi, dei manometri per misurare la pressione, all'ingresso e alla mandata, ed infine un telaio in metallo per il supporto dell'intera struttura. Il macchinario è in grado di sviluppare un carico in grado di pompare l'acqua ad un dislivello di circa 15-20 piedi, cioè poco più di 6 metri.

○ **Particolari e Disegni**



**Figura 18**



#### 4.2.6-Aggrozouk (Bicitractor)

Un progetto di Mathieu Grosche, per Farming Soul (Grosche, 2015).

- **Contesto**

Progettato per l'utilizzo in aziende di piccole e medie dimensioni per la coltivazione degli ortaggi, nel rispetto dell'ambiente e senza inquinare.

- **Immagine d'Insieme**



Figura 19

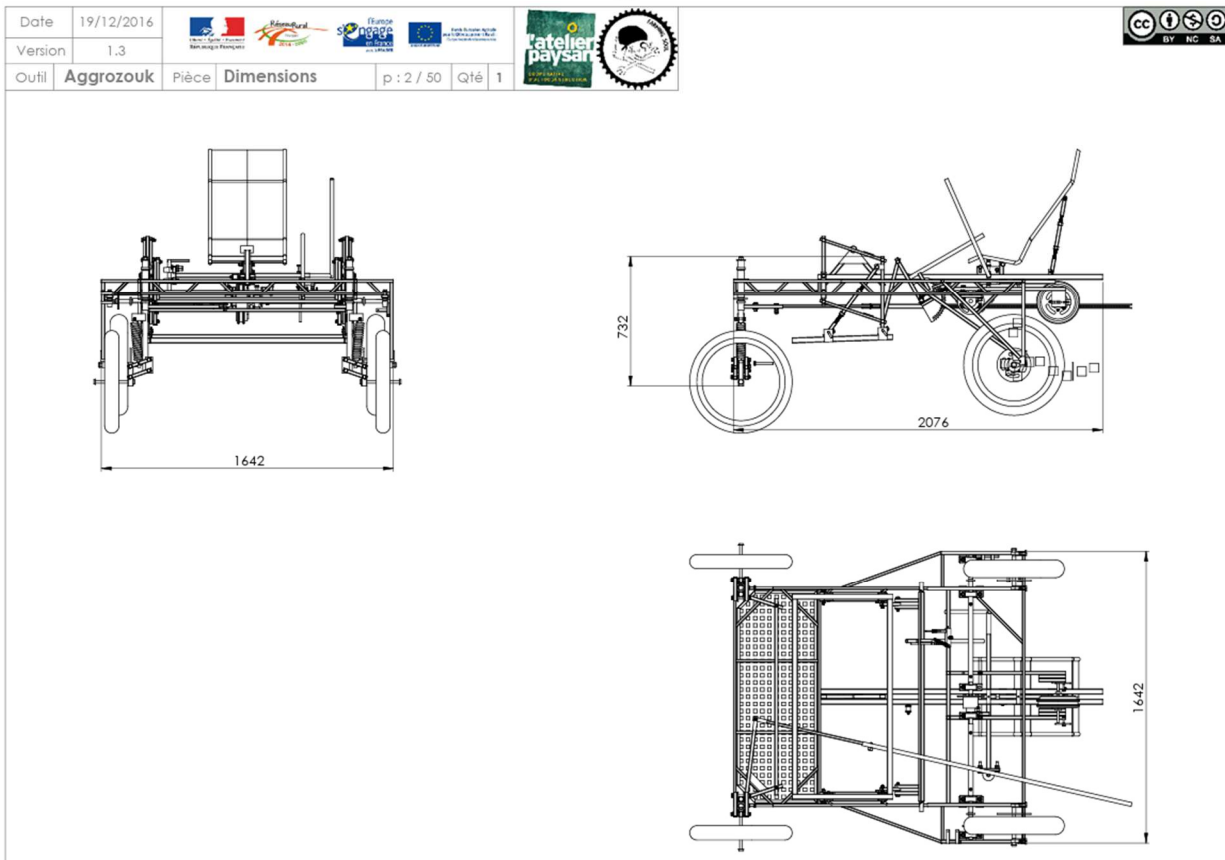
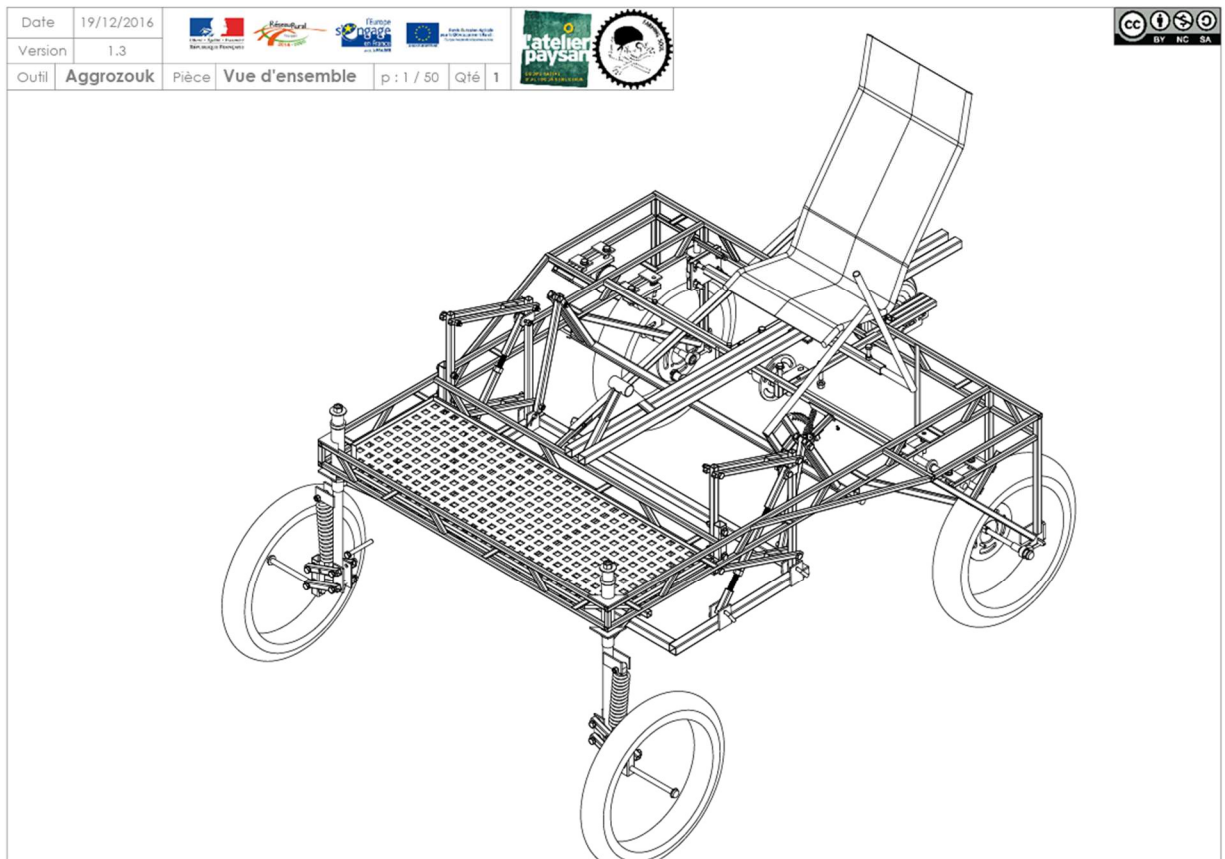
- **Funzionamento**

Il trattore a pedali consente di lavorare piccoli-medi terreni destinati alla coltivazione di ortaggi. Permette di diserbare i campi più velocemente, rispetto al caso in cui lo si facesse a mano, senza però schiacciare e compattare troppo la terra; inoltre permette di agganciare un'ampia varietà di attrezzi agricoli (zappatura, rinalzata, con flange singole o a parallelogramma, ecc.), a seconda delle esigenze del contadino. La manovrabilità viene facilitata grazie ad una trasmissione assistita elettricamente, alimentata da batterie. Il macchinario consente anche di trasportare dell'ulteriore carico, oltre al guidatore, ad esempio degli utensili, fertilizzante o altro. In aggiunta va specificato che si tratta di un progetto open source che quindi permette a chiunque di replicare, ed eventualmente modificare, il modello originale proposto da Farming Soul.

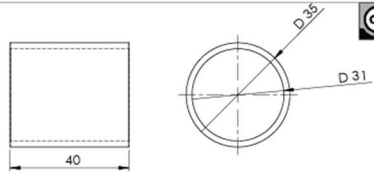
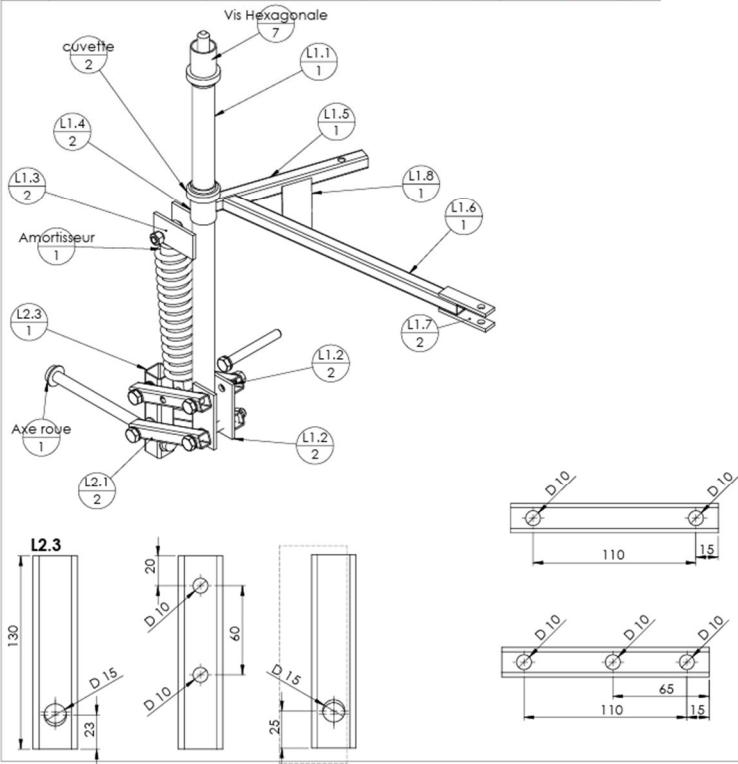
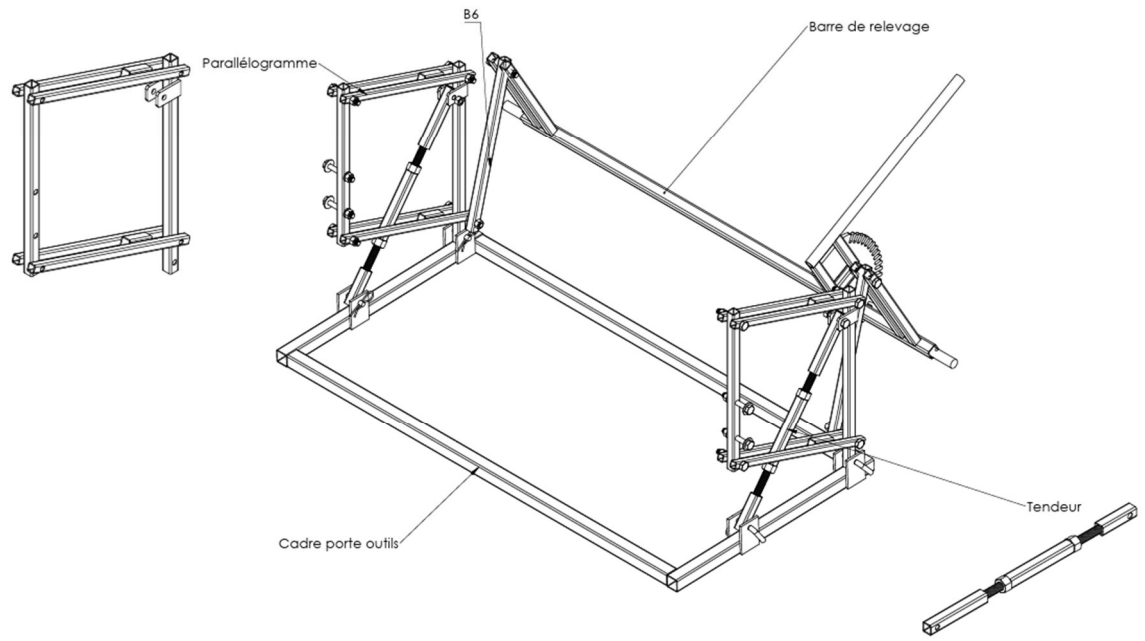
- **Dettagli Tecnici**

L'Aggrozouk è un veicolo porta-utensili a pedali, con quattro ruote per il movimento, che permette di sviluppare 170 W, dotato di pedala assistita (2000 W, ~2.6HP Max), che consente l'aggancio di vari attrezzi agricoli di piccole dimensioni per svolgere qualsiasi tipo di lavoro meccanizzato, fino ad una profondità massima di 5 centimetri. La potenza che riesce ad erogare per mette al contadino di svolgere l'attività di 4, fino a 10, zappe per ortaggi contemporaneamente, senza un particolare sforzo da parte del guidatore, ed ha un autonomia che va dalle 10 alle 20 ore, in base al lavoro che si deve effettuare; è anche possibile installare dei pannelli solari.

○ **Particolari e Disegni**



**Figura 20.a**



N°	Désignation	Longueur	Qté
L1.1	tube étiré rond 30 x 3	600	1
Vis Hexagonale	Vis hexagonale M16 x 50		1
L1.4	tube rond 35 x 2	40	2
L1.5	Tube carré 20 x 2	230	1
L1.6	Tube carré 20 x 2	400	1
cuvette	jeu de direction		2
Amortisseur	Amortisseur		1
L2.1	Tube carré 20 x 2	140	2
L2.2	Tube carré 20 x 2	140	2
L2.3	Tube carré 30 x 2	130	1
Ecrou	Ecrou M10 autofreiné		6
Rondelle	Rondelle Ø10 série ZU		22
Axe roue	Axe Roue		1
L1.3	platine fixation amortisseur		2
L1.2	platine fourche		2
L1.7	platine fixation barre direction		2
L1.8	platine angle direction		1
Vis Hexagonale	vis hexagonale M10 x 30		2
Vis Hexagonale	Vis hexagonale M12 x 100		3
Vis Hexagonale	vis hexagonale M10 x 55		1

Figura 19.b

## 4.2.7-Lit de Travail

Un progetto di Kévin, per Farmin Soul (Kévin, 2020).

- **Contesto**

Progettato per l'utilizzo in aziende di piccole e medie dimensioni per un più facile e meno faticoso mantenimento delle coltivazioni, nel rispetto dell'ambiente e libero da qualsiasi forma di inquinamento.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 21**




- **Funzionamento**

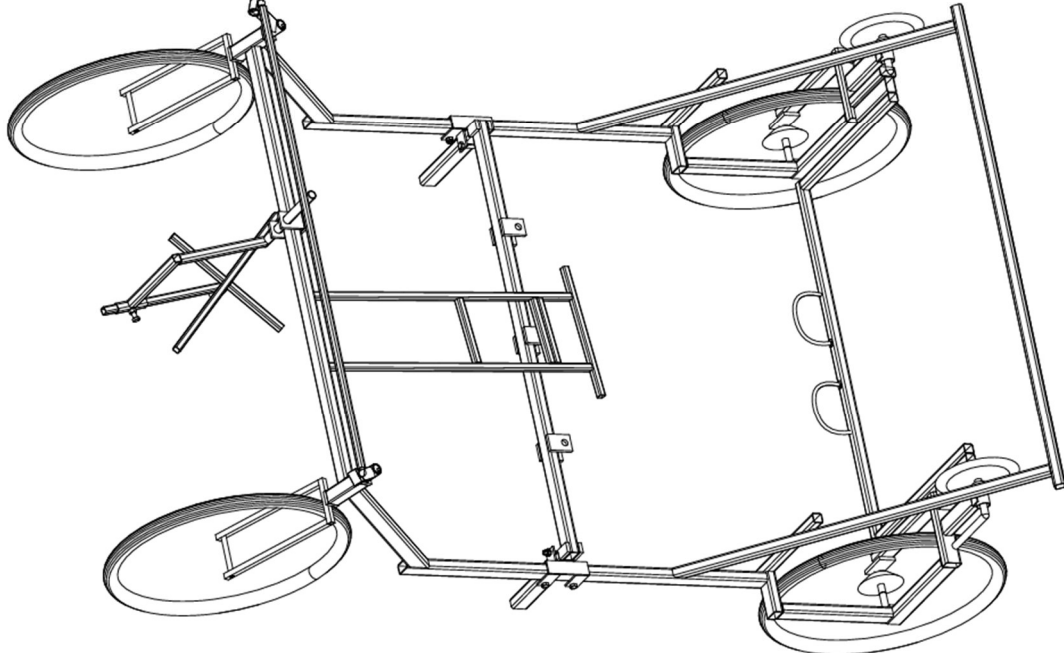
L'operatore si sdraia a faccia in giù sul lettino e pedalando può spostarsi lungo le fila del campo coltivato per effettuare la raccolta dei frutti, delle bacche o degli ortaggi, ma può anche essere adoperato per il trapianto di piantine oppure per la pulizia del terreno dalle erbacce. Grazie alla particolare posizione sdraiata (sulla pancia), si consente al contadino di svolgere il lavoro desiderato meno faticosamente e più velocemente. Inoltre il Lit de Travail è un progetto open source che quindi permette a chiunque di replicarlo, ed eventualmente modificarlo.




- **Dettagli Tecnici**

Il veicolo è costituito da un telaio in acciaio, da quattro ruote, riciclate da delle biciclette dismesse, ed viene messo in moto grazie un unico pedale, un lettino al cento con un supporto per la testa ed uno sterzo per la guida. Il mezzo viene messo in moto spingendo con entrambi i piedi sul grosso pedale grazie al quale vengono messe in moto le due ruote posteriori, mediante due sistemi di corone con catene, uno per lato; è anche possibile posizionare una cesta, da impiegare come contenitore, nella parte anteriore del veicolo. Il lettino, con poggiatesta, sul quale il guidatore si corica è posizionato al centro della struttura e anche può ruotare orizzontalmente per mettere una maggiore ergonomia durante il lavoro.

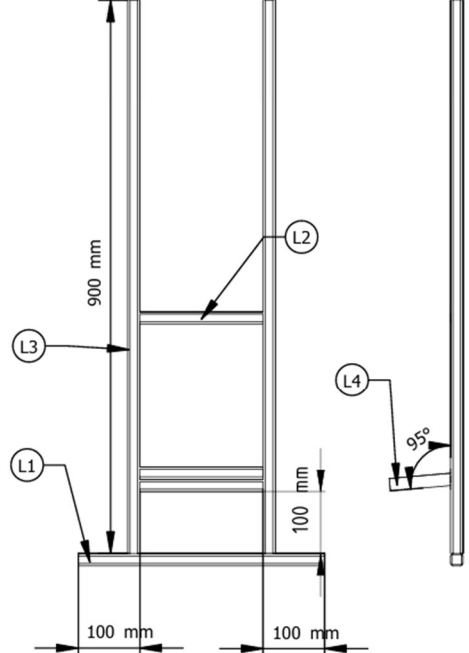
o Particolari e Disegni

<b>Outils</b>	<b>Lit de Travail</b>			 	<b>Auteur :</b> Kévin pour FarmingSoul	
<b>date</b>	06/03/21	V.0.2	P:02/12			
<b>Pièce</b>	Vue générale		Qté 01			






<b>Outils</b>	<b>Lit de Travail</b>			 	<b>Auteur :</b> Kévin pour FarmingSoul	
<b>date</b>	06/03/21	V.0.2	P:08/12			
<b>Pièce</b>	"Lit"		Qté 01			

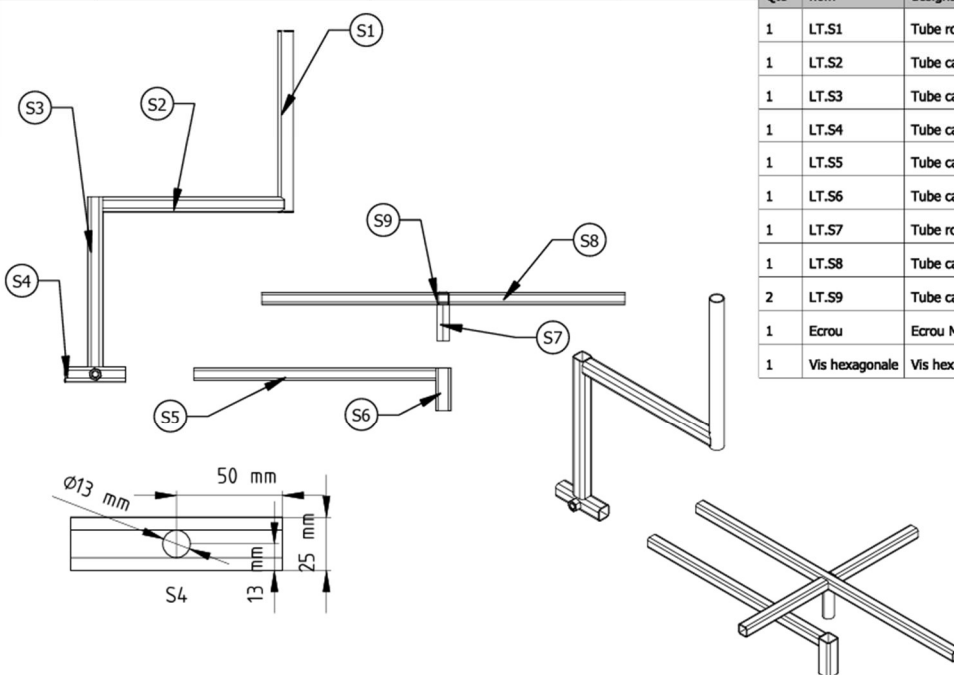
Qté	n°	désignation	angle1	longueur
1	LT.L1	Tube carré 20 x 2		400
2	LT.L3	Tube carré 20 x 2		900
3	LT.L2	Tube carré 20 x 2		200
1	LT.L4	Tube rond 20 x 2	5	100






Technical drawing showing a vertical post assembly with dimensions: 900 mm total height, 100 mm base width, and 100 mm offset. Labels L1, L2, L3, and L4 indicate specific components. A 95° angle is shown for a detail of a component.

Figura 22.a

<b>Outils</b>	<b>Lit de Travail</b>		 	<b>Auteur :</b>			
<b>date</b>	06/03/21	V.0.2		P:10/12	Kévin pour FarmingSoul		
<b>Pièce</b>	<b>Support de Caisse</b>			Qté 01			

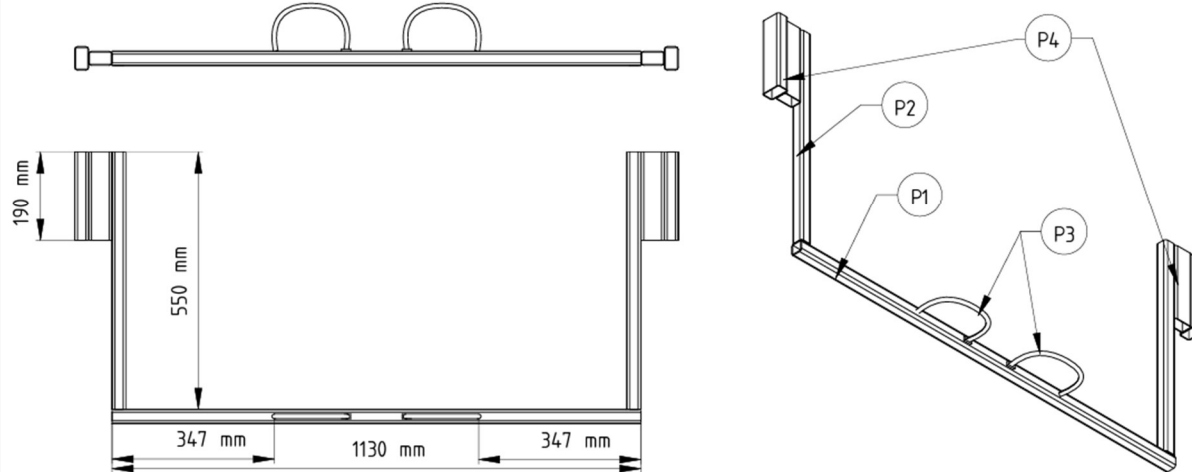
  


Qté	nom	désignation	perçages	longueur
1	LT.S1	Tube rond 25 x 2		300
1	LT.S2	Tube carré 25 x 2		300
1	LT.S3	Tube carré 25 x 2		280
1	LT.S4	Tube carré 25 x 2	D : 13 mm	100
1	LT.S5	Tube carré 20 x 2		400
1	LT.S6	Tube carré 25 x 2		70
1	LT.S7	Tube rond 20 x 2		60
1	LT.S8	Tube carré 20 x 2		600
2	LT.S9	Tube carré 20 x 2		190
1	Ecrou	Ecrou M12		
1	Vis hexagonale	Vis hexagonale M12 x 30		

<b>Outils</b>	<b>Lit de Travail</b>		 	<b>Auteur :</b>			
<b>date</b>	06/03/21	V.0.2		P:11/12	Kévin pour FarmingSoul		
<b>Pièce</b>	<b>Pédale</b>			Qté 01			

Ci dessous la version 1 place , vous pouvez rajouter un support de chaque cotés pour la version 2 places.

pour monter les cales P4 , on réalise l'assemblage P1,P2,P3 puis on le présente centrer à l'intérieur des pédales et on ajuste les cales.



Qté	n°	désignation	longueur
1	LTP1 140	Tube carré 30 x 3	1 275
2	LTP2	Tube carré 30 x 2	550
2	LTP3	fer rond 8	400
4	LTP4	Tube rectangulaire 50 x 30 x 2	190

Figura 21.b

#### 4.2.8-R2B2

Un progetto di Christoph Thetard (Warmann, 2010).

- **Contesto**

L'unità da cucine permette di creare dei cibi senza il bisogno di elettricità, permettendo così di ridurre gli sprechi e minimizzare l'uso di risorse naturali.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 23**

- **Funzionamento**

R2B2 è un insieme di tre macchine da cucina alimentate da un volano azionato dalla forza muscolare di un singolo operatore. Il dispositivo consente di ospitare le tre apparecchiature al suo interno e a seconda della tipologia di cibo che si vuole preparare si collega all'apposita alimentazione lo strumento scelto per cucinare.

- **Dettagli Tecnici**

L'apparecchio è costituito da un frullatore a immersione, un macinacaffè e un robot da cucina che si inseriscono su una struttura di legno, la quale custodisce un meccanismo, con volano, azionato con un pedale. Usando il pedale è possibile mettere in moto il volano fino a 400 rpm e successivamente impiegare l'energia in esso immagazzinata per lavorare un minuto con una potenza di 350 W. Questa unità da cucina è anche dotata di un interruttore sulla parte anteriore con il quale è possibile selezionare tra tre diversi rapporti di funzionamento, uno lento, uno veloce o neutro.

○ Particolari e Disegni



Figura 24



## 4.2.9-Mecihanical Munchy-Maker

Un progetto di Gordana Ilic, Dillon Wilke e Joshua Alexander (Ilic, 2010).

- **Contesto**

L'obiettivo di questo progetto è di realizzare una bicicletta che aziona meccanicamente un frullatore, per insegnare ai visitatori del Samoa Hostel come generare energia rinnovabile e allo stesso tempo preparare dei frullati.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 25**

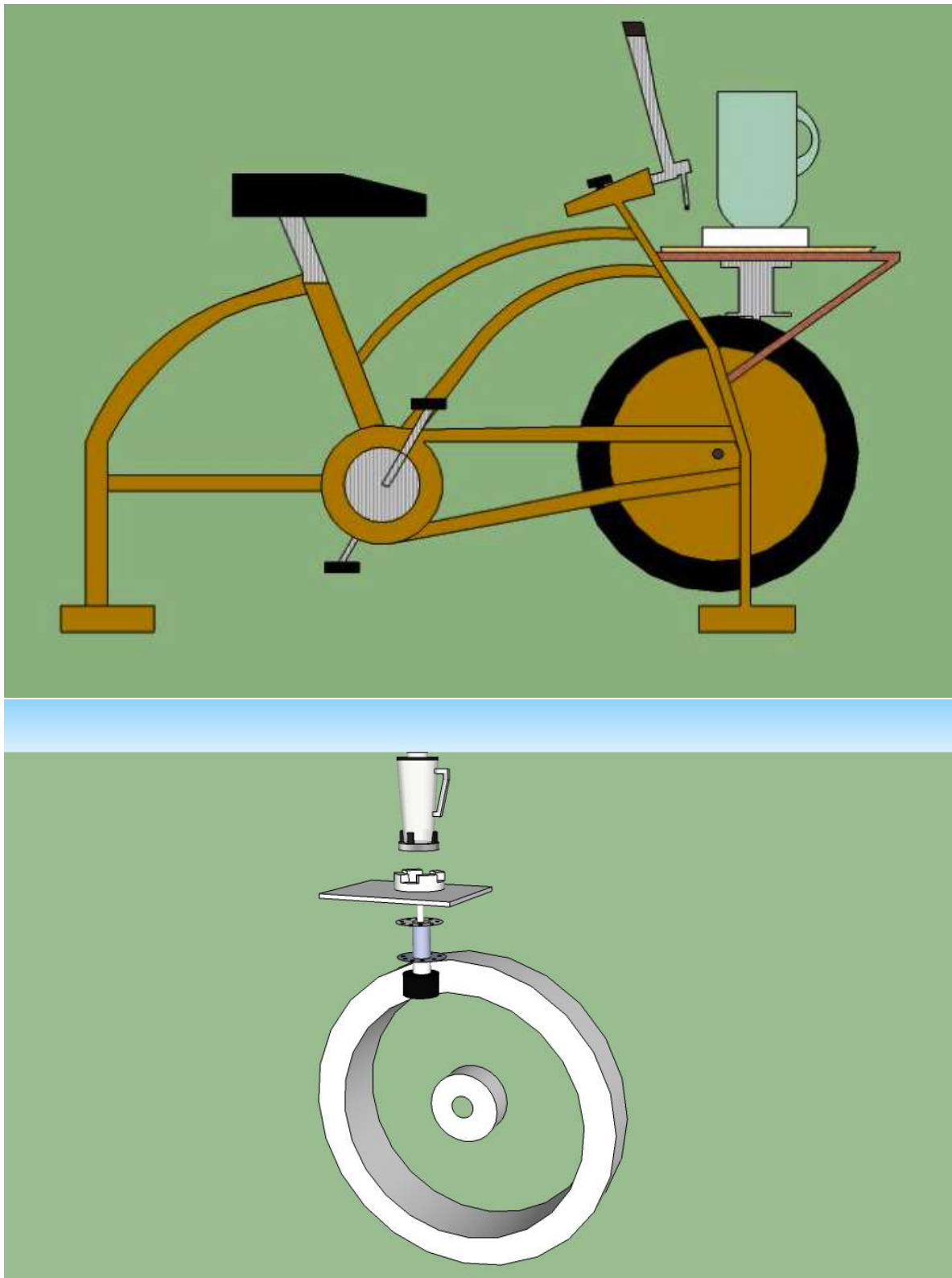
- **Funzionamento**

Il Mechanical Munchy-Maker è una bicicletta vintage per esercizi che trasforma la potenza delle gambe umane in rotazione meccanica e genera energia per alimentare un elettrodomestico da cucina, nello specifico un frullatore. Quando l'utente inizia a pedalare sulla cyclette, la potenza che sarà in grado di produrre verrà meccanicamente trasferita alle lame del frullatore. Il dispositivo è in grado di realizzare vari frullati, a seconda dei gusti del ciclista. All'aumentare del contenuto inserito nel frullatore, crescerà anche lo sforzo con il quale dovrà pedalare, offrendo all'operatore un allenamento più intenso e faticoso, ma anche una comprensione fisica della quantità di energia necessaria ad alimentare un dispositivo meccanico di questo tipo.

- **Dettagli Tecnici**

L'intero apparato è costruito con una cyclette Schwinn del 1982. Il frullatore è stato fissato a una base e le sue lame sono state collegate, tramite un albero, ad un meccanismo a frizione. Questa struttura è stata poi fissata sulla parte anteriore della bicicletta, sopra alla ruota-volano, affinché il frullatore si trovi di fronte all'operatore e quindi permettere un più semplice controllo del contenuto mentre si sta pedalando. La corona collegata ai pedali mette in moto la ruota anteriore, mediante una trasmissione a catena, che poi, grazie al contatto strisciante (tra la ruota-volano e l'albero collegato alle lame) che trasforma il moto circolare verticale in movimento orizzontale, aziona il frullatore.

○ **Particolari e Disegni**



**Figura 26**

## 4.2.10-Dual-Purpose Bicycle

Un progetto di Job S. Ebenezer (Beckmann, 2008).

- **Contesto**

Il macchinario è perfetto per azionare altri dispositivi di dimensioni ridotte, come pompe , trebbiatrici per cereali, macinatori, piccoli utensili ed anche generatori elettrici.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 27**

- **Funzionamento**

Il nome stesso del dispositivo è già piuttosto esplicativo nel descrivere in generale le modalità di utilizzo: la modalità “trasporto” e quella “generatore di potenza”. Pertanto viene permesso all’operatore di raggiungere un determinato luogo, come se stesse guidando una generica bicicletta, designato per svolgere una certa attività richiesta di generazione di energia. Una volta posizionato a terra il supporto per la ruota posteriore del veicolo, e sufficiente iniziare a pedalare, un’attività del tutto identica all’allenamento che si compie con una cyclette. Il volano, che è stato fissato su un lato della bicicletta, oltre al tipico compito di immagazzinamento dell’energia è anche il diretto responsabile del trasferimento della potenza generata dal ciclista all’attrezzatura esterna che si intende mettere in funzione, in altre parole è di fatto una puleggia. Tuttavia, affinché la modalità “generatore di potenza” possa operare correttamente, bisogna sganciare la catena che mette in funzione la ruota posteriore del veicolo dalla corona dei pedali e collegare invece al suo posto quella del volano. Affinché tutto il sistema funzioni regolarmente è necessario che la bicicletta sia ben ancorata a terra e che la cinghia collegata alla puleggia sia tesa a sufficienza.

- **Dettagli Tecnici**

Per realizzare il Dual-Purpose Bicycle è necessaria soltanto una bicicletta, un modello qualsiasi per adulti, un volano di dimensioni modeste, non eccessivamente pesante, e degli angolari in acciaio, da 19 millimetri, con i quali realizzare il supporto per la ruota posteriore. Per poter fermare la puleggia al telaio della bici non esiste una soluzione proposta dal progettista che sia univoca, poiché varierà a seconda della forma del veicolo che è stato scelto. Gli unici elementi ricorrenti che

dovranno essere rispettati sono un volano, una ruota libera (dentata) ed un albero che collega questi due elementi, mentre il resto del supporto verrà realizzato caso per caso. La base di supporto invece ha delle misure specifiche e viene fissata all'asse della ruota posteriore, in questo modo la struttura può essere ruotata verso l'alto, per poterla trasportare con il veicolo durante gli spostamenti, oppure verso il basso, per sorreggere l'apparato e garantire il funzionamento come generatore. Dalle prove sul campo è emerso che per piccole applicazioni la puleggia può arrivare anche a 800 giri al minuto e che per la trasmissione una cinghia-V è adeguata; mentre se la coppia resistente dovesse essere elevata, allora è necessario sostituire la puleggia con una ruota dentata e per la trasmissione adoperare una catena vengono a che garantisce appunto coppie più alte.

o **Particolari e Disegni**

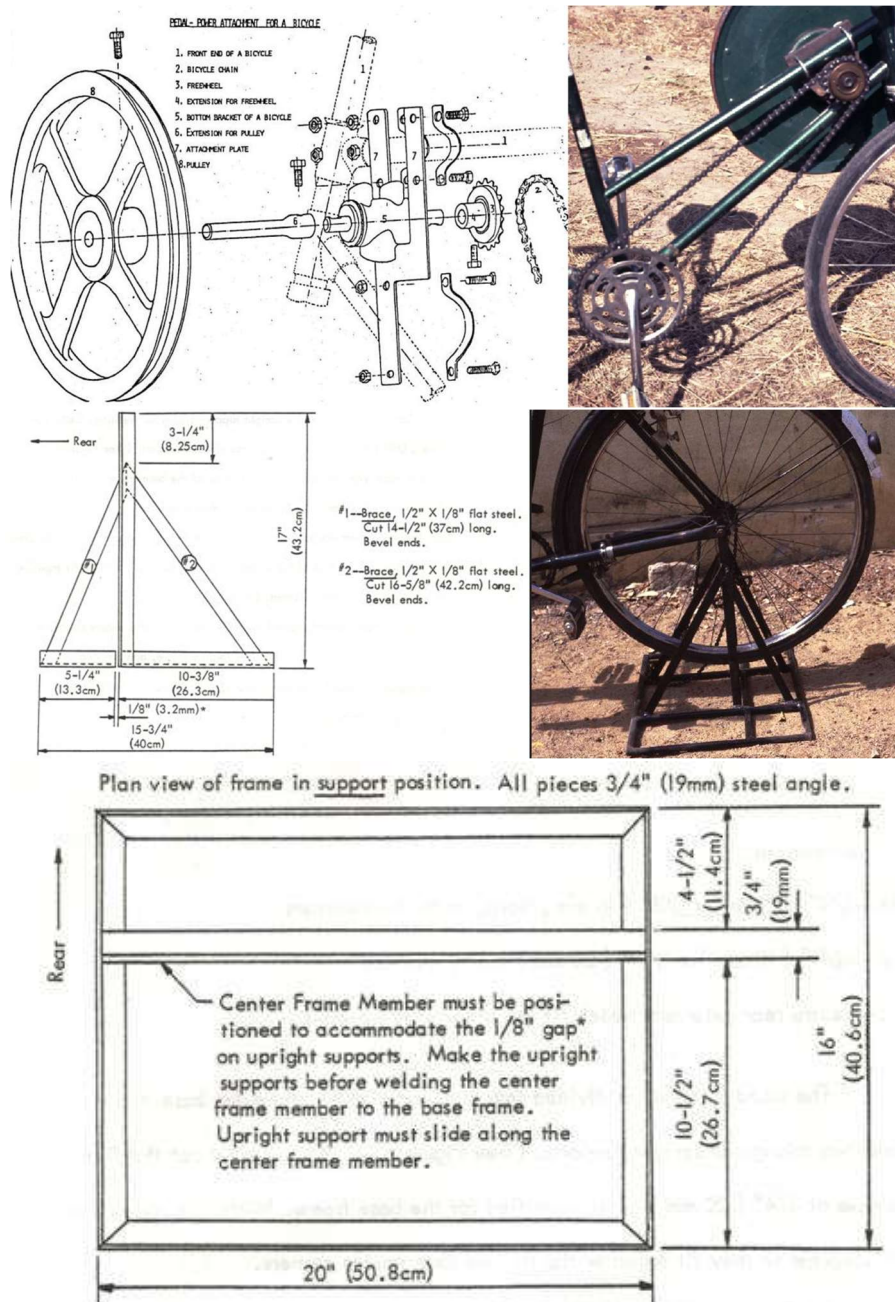
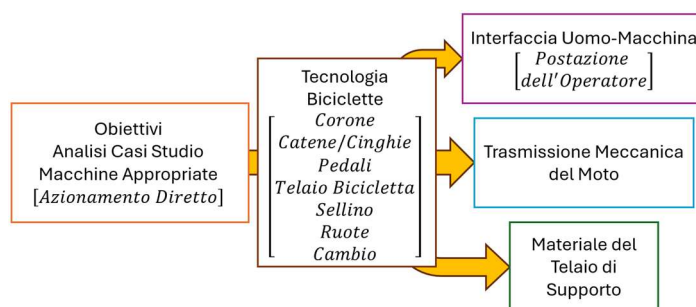


Figura 28

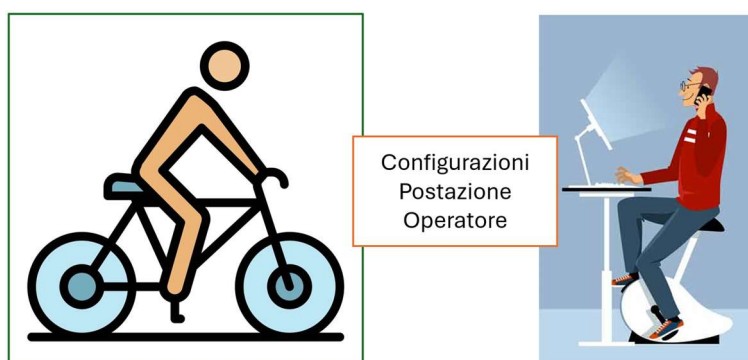
#### 4.2.11-Informazioni Conclusive

Gli elementi principali e più interessanti che devono essere esaminati, osservando i casi studio proposti, sono l'ergonomia della postazione dell'operatore, il tipo di trasmissione meccanica implementata e i materiali impiegati per la costruzione. Come già anticipato le informazioni così trovate verranno sfruttate successivamente quando si dovranno decidere quali soluzioni adottare in fase di progettazione del generatore elettrico a pedali, esattamente per quanto riguarda la componente meccanica, strutturale ed economica del dispositivo. Per prima cosa, però, è necessario sottolineare che la tecnologia sfruttata per realizzare la trasmissione del moto e della potenza in tutti i progetti osservati è la stessa che si può trovare su qualsiasi bicicletta: ruote (riconvertite in pulegge o volani), catene, cinghie, corone dentate, pignoni e cambi (figura 29). Proprio per questo motivo la bicicletta è diventata l'elemento centrale di ogni tecnologia intermedia e un punto di partenza e di riferimento quando oggi si vuole progettare e realizzare una macchina appropriata.



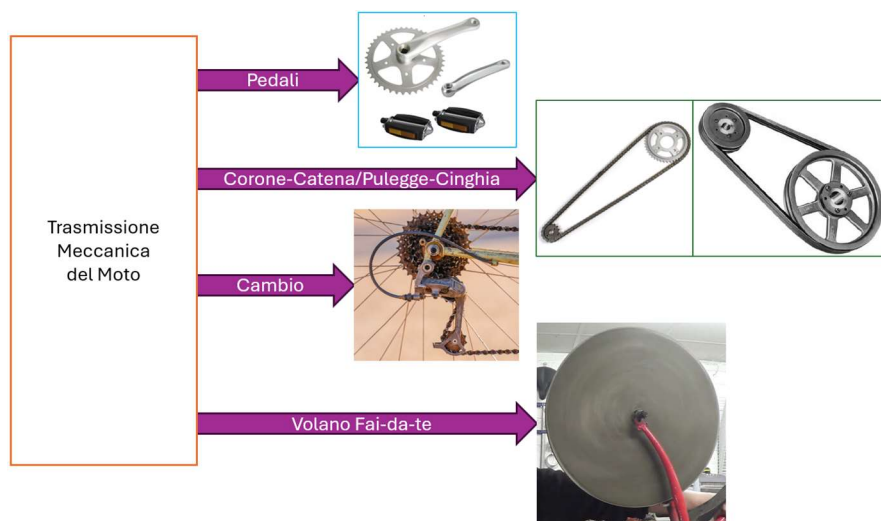
**Figura 29-Obiettivi dell'analisi dei casi studio**

Partendo dall'operatore e proseguendo fino all'utensile, per concludere poi con il telaio di supporto, in ognuna delle apparecchiature individuate l'elemento che per primo si incontra è la postazione di lavoro. L'ergonomia dell'interfaccia uomo-macchina è un aspetto fondamentale che non deve essere assolutamente trascurato, poiché un buon design garantisce delle prestazioni fisiche ottimali, riducendo la fatica durante l'utilizzo, e consente anche di migliorare l'efficienza generale raggiungibile. Ovviamente è sottinteso che tutti i casi studio presi in esame si avvalgono delle gambe per essere avviati, dal momento che soltanto con la giusta muscolatura del corpo si assicurano dei risultati superiori. Il lavoratore quindi deve trovarsi a proprio agio e non scomodo mentre aziona il dispositivo, altrimenti ne risentirebbero non solo le sue condizioni di salute, ma soprattutto la produttività complessiva; sottovalutare questo aspetto è ciò che ha fatto guadagnare l'appellativo non molto incoraggiante di "macchine a sangue" ad alcuni dei primi esemplari mai realizzati. Dagli esempi selezionati si osserva che la seduta viene di fatto realizzata o con il sellino di una bicicletta (o cyclette) oppure con una sedia (o sedile): nel primo caso risulta complicato pedalare e contemporaneamente svolgere un'attività manuale, poiché di fronte all'operato è collocato un manubrio per sostenersi; nel secondo invece è possibile sia attivare il macchinario che svolgere altre mansioni (figura 30).



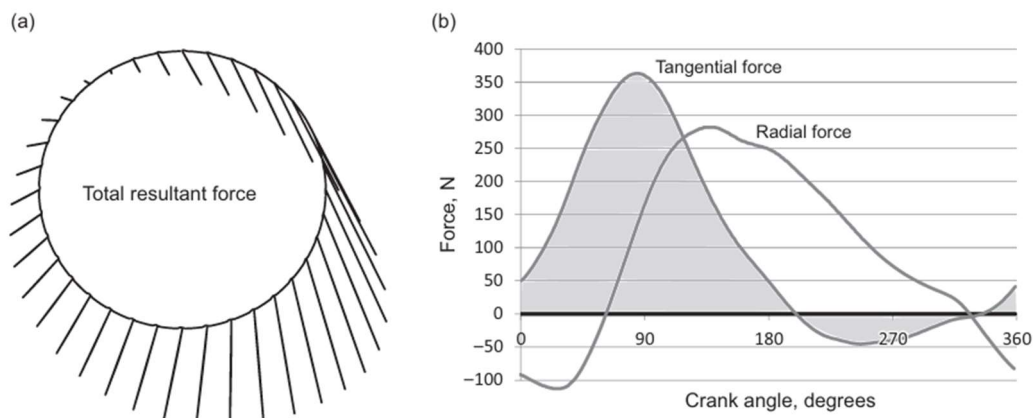
**Figura 30-Possibili configurazioni dell'interfaccia uomo-macchina**

Procedendo con l'analisi ci si imbatte poi nella componente di trasmissione meccanica del moto (figura 31), dove tutti i modelli concordano, confermando così che il metodo migliore per trasferire la potenza dalle gambe all'utensile è mediante delle ruote dentate e delle catene, oppure con delle pulegge e delle cinghie. Infatti questi meccanismi consentono di raggiungere dei rendimenti molto elevati, fino al 99%, e ciò implica che l'energia che arriva all'utensile è praticamente la stessa che viene spesa dall'operatore durante l'esercizio. Inoltre praticamente tutte le soluzioni che adoperano una catena sono perfino dotate di un cambio (un deragliatore o un cambio a trasmissione continua), che permette di regolare la velocità e la forza richieste alle gambe durante i vari contesti di lavoro. In questo modo è in parte possibile adattare lo sforzo fisico con le circostanze d'impiego. Oltre a questo viene sempre aggiunto anche un volano, un elemento indispensabile grazie al prezioso contributo che è in grado di apportare nel progetto.



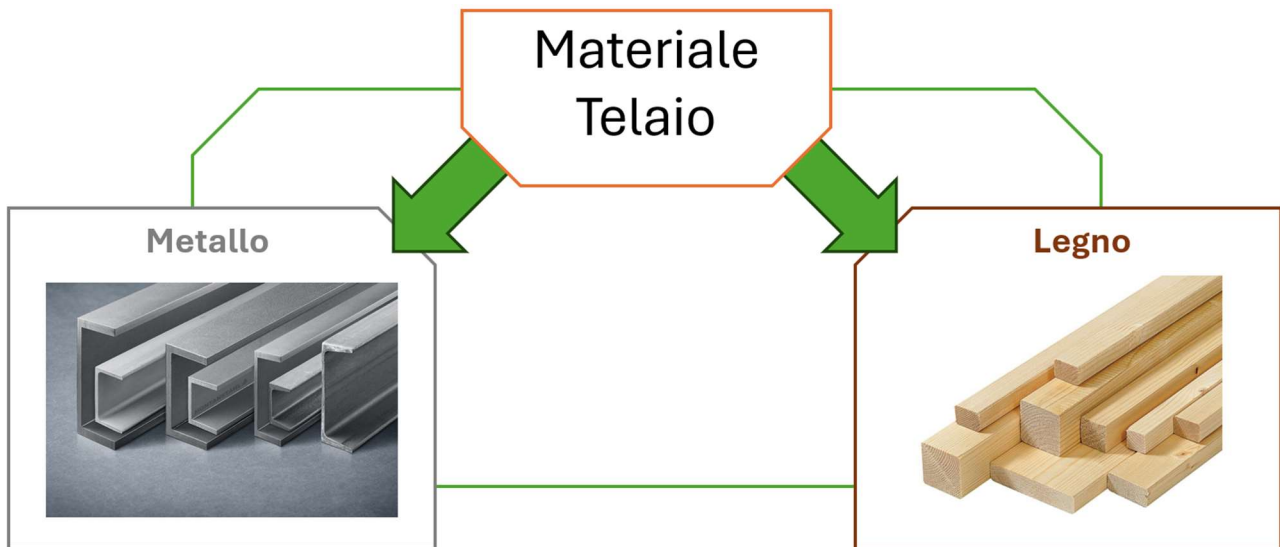
**Figura 31-Elementi caratteristici della trasmissione meccanica del moto**

Infatti mentre si pedale, la potenza trasmessa ai pedali dalle gambe è incostante. Ogni  $180^\circ$  si raggiunge il massimo ed essendo i pedali sfasati di  $180^\circ$  tra loro, si ottengono due picchi ad ogni giro; oltretutto, durante una corsa completa del pedale, emergono delle zone tra la posizione superiore e quella inferiore dei pedali, chiamate "punti morti", dove la potenza quasi si annulla (figura 32). Questo comporta dei movimenti a scatti abbastanza sgradevoli ed uno sforzo ulteriore indesiderato sulle varie parti della struttura, perciò utilizzare un volano è essenziale per stabilizzare il normale ritmo della pedalata e consentire delle condizioni di lavoro più confortevoli, delle maggiori prestazioni superiori e di accumulare dell'energia cinetica che potrà essere rilasciata in un secondo momento (Wilson, 2020; De Decker, 2011-2022).



**Figura 32-Andamento della forza in funzione dell'angolo di rotazione dei pedali (Wilson, 2020)**

Per quanto riguarda invece i materiali con cui sono stati costruiti i telai di supporto, l'acciaio è l'ingrediente principale. Le strutture sono state fabbricate riciclando biciclette o cyclette dismesse, oppure saldando tra loro delle sbarre d'acciaio, quindi con lo scopo e l'idea di permettere a chiunque, dovunque si trovi, di riprodurre lo stesso progetto e di apportare delle modifiche se lo si desidera. La scelta del materiale, comunque, è strettamente legato all'ambito nel quale si intende utilizzare il macchinario e quindi agli sforzi a cui sarà sottoposto. Il legno, dunque, è un valido sostituto (figura 33), se le circostanze operative lo concedono, ma, soprattutto, se si decide di realizzare da zero il proprio prototipo. La facilità con cui è possibile lavorarlo e modellarlo, quando si deve evitare qualsiasi struttura preesistente o preassemblata (ad esempio il telaio di una vecchia bicicletta dismessa), lo rendono un candidato adatto.

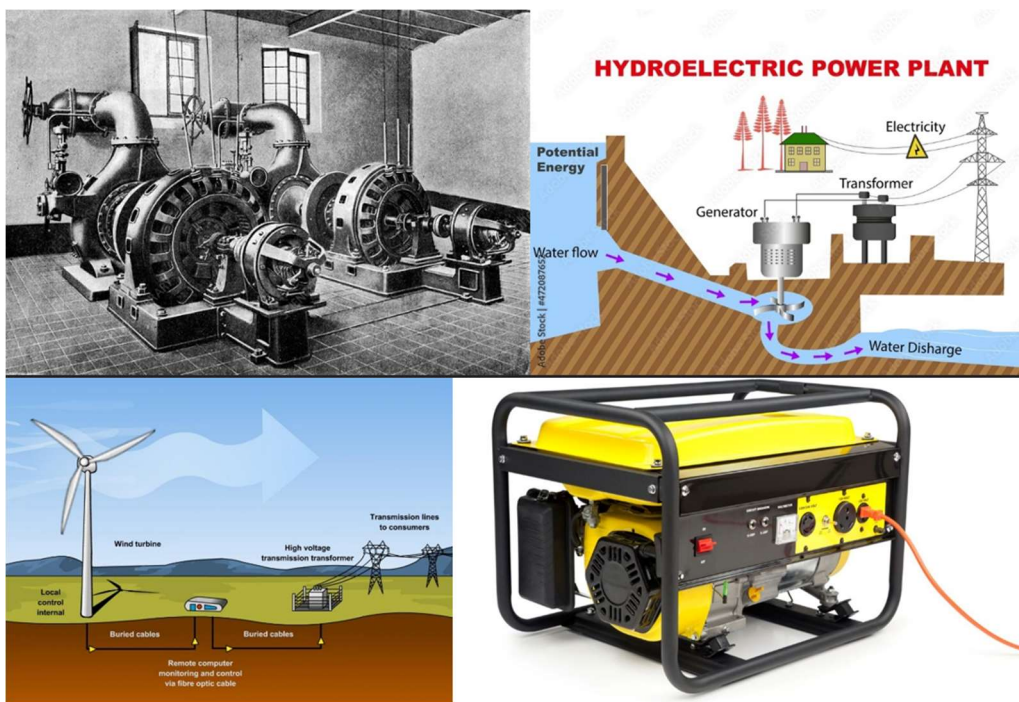


**Figura 33-Materiale per costruire la struttura di supporto del generatore a pedali**

Infine osservando i vari casi studio è stato possibile constatare che sia il criterio di semplicità, overosia soluzioni non complesse, che quello della sostenibilità sono stati ampiamente rispettati. Tutti i dispositivi sono tecnicamente semplici, di dimensioni contenute e quindi agevoli da trasportare, fabbricabili partendo da materiali reperibili comodamente, spesso riciclando i componenti da altri oggetti, molto efficienti e anche facili da usare (è sufficiente posizionare il macchinario, collegare l'utensile che si vuole azionare ed iniziare a pedalare).

## 5-Il Generatore Elettrico a Pedali

L'elettricità governa la quotidianità della maggior parte delle persone nel mondo, non esiste nazione, governo o industria che possa espletare le proprie mansioni senza di essa, ed il suo consumo, dalla comparsa fino ad oggi, è aumentato proporzionalmente con il benessere e il progresso tecnologico (Bryce, 2020; IEA, 2021). Quando nella prima metà del XIX secolo gli studi e gli esperimenti permisero di intuire le sue incredibili potenzialità e ciò che sarebbe stata in grado di offrire, gli sforzi di parte della comunità scientifica vennero rivolti unicamente verso l'ideazione di vari metodi che avrebbero consentito di manipolarla e di produrla in massa: nacquero così i primi prototipi di generatore elettrico industriale (figura 34). Le condizioni di vita e di lavoro delle persone vennero completamente stravolte e le società incominciarono a riorganizzarsi edificando una nuova infrastruttura strettamente legata alle emergenti reti elettriche. Con il tempo l'elettricità è diventata un elemento essenziale ed imprescindibile per lo sviluppo e al quale non è più possibile rinunciare, a meno di notevoli sacrifici. Sebbene negli anni si sia appreso come generare energia elettrica con mezzi alternativi, il generatore elettrico è rimasto, fin dalla sua comparsa, il principale responsabile nel rifornire le reti elettriche sparse in tutto il mondo.



**Figura 34-Esempi di generatori elettrici alimentati con differenti fonti di energia primaria (Alto Sinistra: Scienze Photo Library; Alto Destra: Fridas; Basso Sinistra: Hydro Tasmania; Basso Destra: Nichols)**

Tuttavia l'abitudine allo spreco e il consumismo hanno costretto molti paesi industrializzati, in più di un'occasione, a ricercare o rivalutare altre fonti di energia, possibilmente rinnovabili. Malgrado nel tempo siano state progettate e realizzate molte macchine a pedali che impiegano una trasmissione meccanica diretta del moto per un'ampia gamma di lavori (torni, macchine da cucire, trebbiatrici e molto altro), negli ultimi anni l'attenzione si è spostata principalmente verso soluzioni rivolte alla produzione di energia elettrica mediante generatori a pedali, anche se sono di fatto meno efficienti (De Decker, 2011). Ciò nondimeno le motivazioni che hanno innescato questa tendenza sono ampiamente comprensibili: oggi le esigenze quotidiane sono progressivamente più dipendenti dall'elettricità, le persone sono circondate ed utilizzano dispositivi che devono essere collegati ad una presa di corrente per poter funzionare. Perciò, considerando i bisogni energetici del singolo individuo, le abitudini sempre più sedentarie delle persone e un crescente desiderio per una vita più ecosostenibile, tutte le

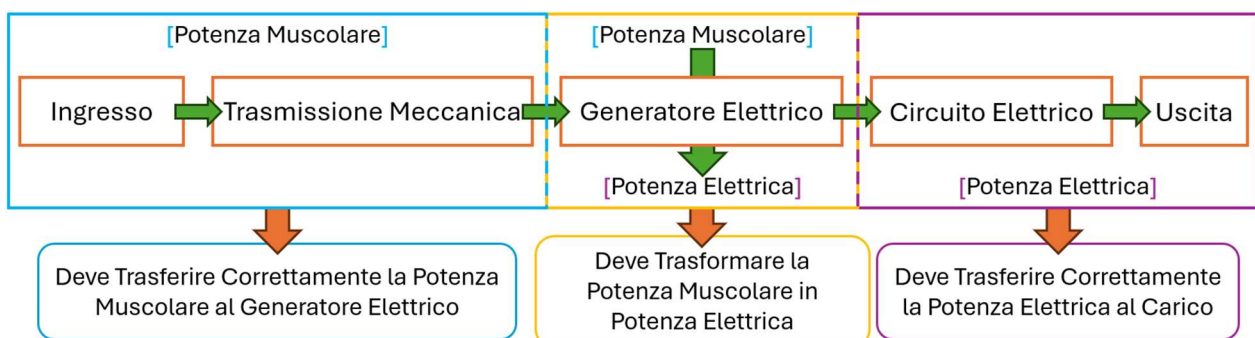


tecnologie alternative capaci di produrre, preferibilmente, energia elettrica da fonti rinnovabili, hanno acquisito un successo sempre maggiore, soprattutto nella società occidentale. Proprio in questo nuovo clima di maggiore responsabilità e rispetto dell'ambiente alcune palestre intorno al mondo (figura 35), ad esempio, hanno deciso di aggiornare e riconvertire le attrezzature per gli esercizi in veri e propri generatori elettrici (Maha, 2012); anche se i costi per rinnovare le attrezzature al momento superano di gran lunga i benefici economici. La validità principale dei generatori elettrici a pedali, diversamente da quello che intuitivamente si potrebbe pensare, permette di allenarsi mentre si produce dell'elettricità non è il punto forte di questi macchinari (a causa degli scarsi rendimenti che sono in grado di offrire), risiede nelle opportunità didattiche che sono in grado di offrire, come la sensibilizzazioni verso tematiche di transizione socio-ecologia o l'insegnamento dei principi fisici legati all'elettromagnetismo.



**Figura 35-Esempio di una palestre con Cyclette-generatore elettrico (SportsArt)**

Le leggi fisiche e le soluzioni ingegneristiche che regolano il funzionamento dei generatori elettrici a pedali sono note oramai da più di un secolo, eppure soltanto negli ultimi anni sembra essere stata scoperta la loro utilità. Anzi, volendo essere pignoli, il primo generatore elettrico mai realizzato, inventato nel 1831 dallo scienziato inglese Michael Faraday (ancor prima che venisse scoperto il legame tra elettricità e magnetismo), era un dispositivo azionato manualmente, che quindi convertiva lo sforzo muscolare delle braccia in elettricità. La semplicità della tecnologia che governa questi macchinari e la facilità con cui è possibile reperire i vari componenti per poterli costruire hanno sicuramente contribuito ad aumentare la loro diffusione, ma hanno perfino permesso a chiunque con un minimo di esperienza nel fai-da-te di realizzare la propria idea e versione di generatore a pedali. Infatti per costruire un prototipo basilare è semplicemente necessario possedere una bicicletta, o avere accesso a qualche vecchio modello oramai dismesso, reperire un motore elettrico, acquistare alcuni cavi elettrici per il cablaggio ed il gioco è fatto.



**Figura 36-Schema a blocchi di un generico generatore elettrico a pedali**

Schematicamente, dunque, l'intero apparato consiste di un sistema di azionamento (pedali), un meccanismo di trasmissione del moto (a catena, a cinghia, con una ruota di frizione oppure direttamente), un volano (per immagazzinare l'energia e per rendere più stabile l'erogazione della potenza), un motore elettrico che lavori da generatore ed infine un circuito elettrico per trasferire l'energia elettrica verso l'utenza che si vuole rifornire (figura 36).

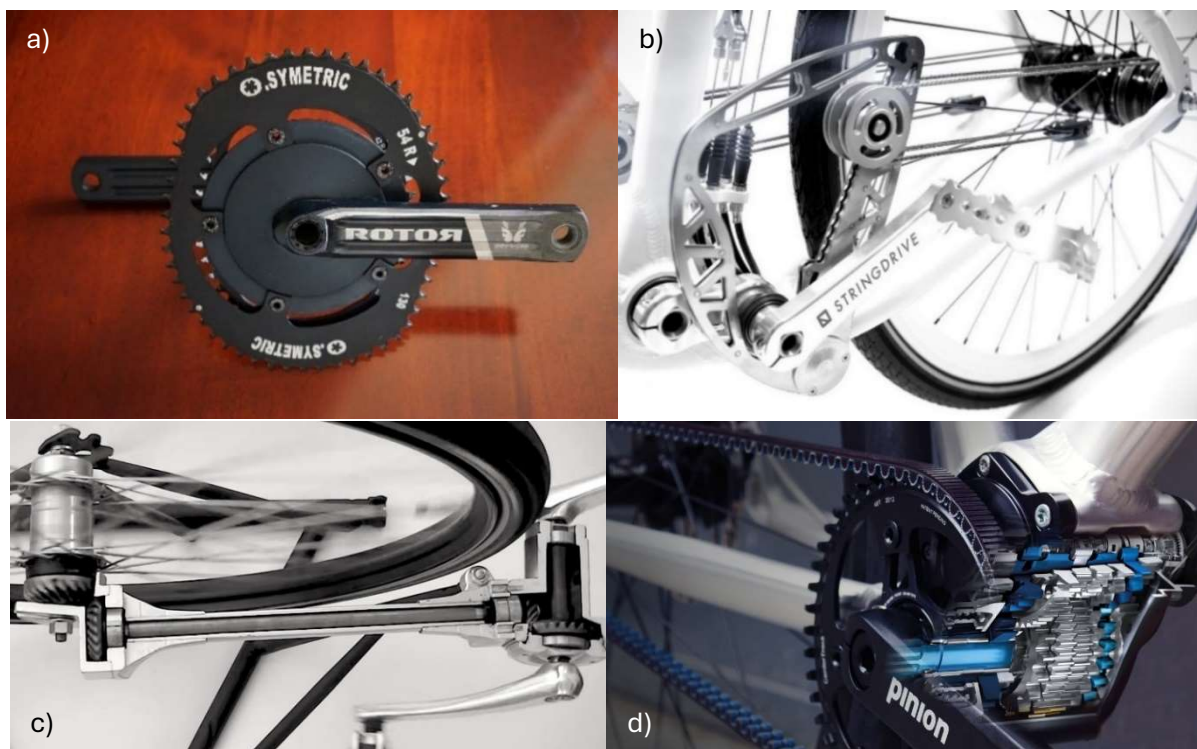
## 5.1-La Trasmissione Meccanica

La trasmissione meccanica che permette di trasferire la potenza muscolare delle gambe dell'operatore verso il generatore elettrico è la componente più valida e prestante dell'intero apparato, poiché si adoperano sostanzialmente gli stessi meccanismi che regolano il moto delle biciclette (figura 37). Nei capitoli precedenti si è constatato che la velocità di rotazione ottimale di un operatore medio è compresa tra 60 e i 90 giri al minuto, perciò questa informazione è un dato progettuale che in parte vincola la direzione che il processo di progettazione deve seguire. La velocità di rotazione del rotore e la tensione restituita da un generatore sono correlate e tipicamente scelta la tensione che si vuole ottenere in uscita, allora sarà nota anche la velocità alla quale bisognerà far ruotare il rotore. Dunque la componente meccanica di un generatore elettrico a pedali dove unicamente modificare la velocità di rotazione dei pedali e farla arrivare ad un valore che rispetti le richieste del motore-generatore, affinché venga assicurata la tensione desiderata. Contemporaneamente, però, si desidera ridurre al minimo il numero di perdite, di conseguenza andranno ricercate soltanto quelle soluzioni che garantiscono dei rendimenti molto elevati. A questo proposito torneranno molto utili tutte le informazioni trovate durante il processo di indagine delle macchine appropriate ad azionamento meccanico svolto in precedenza.



**Figura 37-Il classico sistema di trasmissione nelle biciclette (Soares, 2016)**

L'ingegnere David Gordon Wilson nella quarta edizione di *Bicycling Science* ha continuato ed approfondito la raccolta e l'analisi, condotte nelle precedenti pubblicazioni, a proposito delle tecnologie che regolano il funzionamento delle biciclette, mettendo in luce tutte le soluzioni e le innovazioni che nel tempo sono state realizzate (figura 38). Sebbene molte delle novità trattate nel libro siano tecnicamente affascinanti ed efficienti, i classici meccanismi che si possono trovare sulla maggior parte delle biciclette in commercio, dalle origini ad oggi, consentono comunque di raggiungere delle prestazioni eccellenti. In aggiunta molte delle soluzioni che cercano di perfezionare il rendimento finale del veicolo, sono spesso più costose e più difficili da reperire, aspetti questi che non si accompagnano molto bene con la filosofia di fondo che caratterizza le macchine appropriate, come la ecosostenibilità e la riqualifica di strutture dismesse; oltre al fatto che nella maggior parte di questi casi si andrebbe a complicare il progetto, senza dei benefici sostanziali.



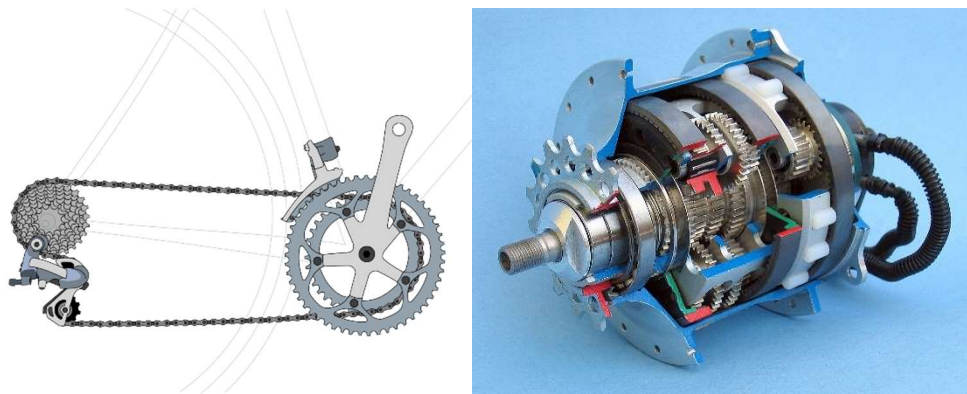
**Figura 38- Alcune delle nuove soluzioni per la trasmissione del moto: a) ruote dentate ellittiche (Sailor, 2015), b) azionamento con leve (Meshing Engineering), c) giunto cardano (Brikbikes 2013) e d) cambio interno al telaio (Pinion)**

A sostegno delle affermazioni appena esposte si possono richiamare le informazioni ricavate dal precedente studio delle macchine intermedie, giungendo così alla conclusione che tra le modalità con le quali si può trasferire il moto dai pedali verso il generatore il procedimento più adatto è quello di impiegare delle corone dentate connesse tra loro con delle catene o delle cinghie (figura 39), poiché permettono di raggiungere i rendimenti migliori, circa 99% (Wilson, 2020).



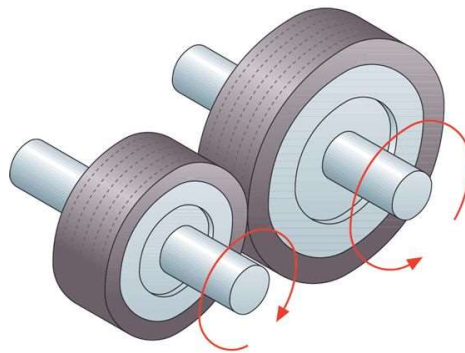
**Figura 39- Soluzioni selezionate per il prototipo di generatore elettrico a pedali: catena (Sinistra: Ilyarexi) e cinghia (Destra: Gates)**

Dalle precedenti indagini è oltretutto emerso che adoperare questa tipologia di trasmissioni permette di includere, se lo si desidera, un deragliatore o un cambio interno al mozzo (figura 40) per ogni tiro di catena presente nel sistema. Il loro obiettivo è quello di modificare il rapporto di trasmissione che in queste specifiche applicazioni (produzione di elettricità) significa regolare, con un certo margine, la tensione ottenibile dal generatore. Pertanto mediante un'accurata progettazioni è possibile scegliere delle specifiche differenze di potenziale che si vogliono garantire in uscita ed alimentare così direttamente i dispositivi collegati, riducendo in questo modo la quantità di conversioni, e di perdite, richieste per rispettare le singole esigenze di funzionamento (De Decker, 2022).



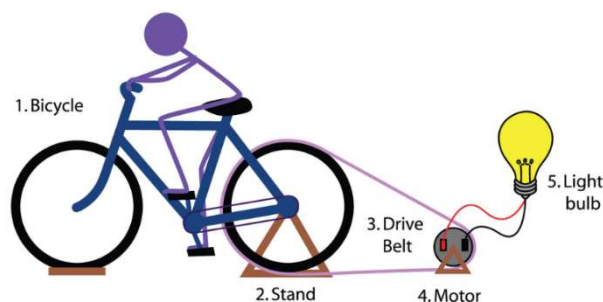
**Figura 40-Transmissioni con deragliatori (Sinistra: Keithonearth, 2009) o con un cambio interno al mozzo (Destra: Rohloff, 2005)**

Viceversa, le soluzioni che dovranno essere generalmente evitate sono quelle che prevedono l'impiego di ruote di frizione (figura 41), dal momento che sono poco prestanti (circa 80%). Ciò nonostante la maggior parte di coloro che si cimentano in progetti simili prediligono un approccio che si serve proprio di questa tipologia di trasmissione e che consiste nel modificare un supporto da allenamento per bici.



**Figura 41-Trasmissione con ruote di frizione (E-Ducativa Catedu)**

Con un investimento economico modesto è possibile realizzare velocemente un prototipo funzionante, adoperando semplicemente la bicicletta in proprio possesso, dei rulli da allenamento per bici (anche di seconda mano) e dei materiali elettrici piuttosto facili da reperire; inoltre le dimensioni contenute consentono di riporlo o di trasportarlo agevolmente (figura 42). Tuttavia da un'analisi più attenta si evince che le prestazioni raggiungibili sono decisamente mediocri, circa del 30%. Infatti, oltre alle già scarse efficienze interne dovute al tipo di trasmissione e alla mancanza di un volano, non tutte le biciclette possono essere impiegate in questa applicazione ed è preferibile evitare sia le mountainbike che i modelli da corsa: le prime non sono per nulla adatte a causa della tipologia di copertoni che montano, mentre le seconde impongono una postura poco prestante durante l'esercizio, con una riduzione delle prestazioni del 20% circa (De Decker, 2011).



**Figura 42-Esempio di un generatore elettrico a pedali (saullopez52)**

Infine, per completare la struttura, è opportuno includere pure un volando (figura 43), un elemento che come è già stato appurato non può mancare assolutamente, siccome permette di regolarizzare il moto ciclico dei pedali, e la potenza erogata dagli stessi, di stabilizzare la tensione prodotta del generatore e può perfino immagazzinare dell'energia per poi restituirla quando serve.



**Figura 43-Esempio di un volano (Domyos)**

## 5.2-Il Motore/Generatore Elettrico

Il motore elettrico (figura 44) è uno strumento che se alimentato all'ingresso con dell'energia elettrica produce in uscita della potenza meccanica, mentre invece un generatore è lo stesso dispositivo che però viene fatto lavorare al contrario: converte energia meccanica di rotazione in elettricità. Esso costituisce l'anima di quasi ogni apparato di generazione di energia elettrica e dunque, in generale, è assolutamente indispensabile, qualunque sia la modalità grazie alla quale viene erogata la potenza in ingresso (motore termico, acqua, vapore, gas, forza muscolare ed altro).



**Figura 44-Esempio di un generico motore elettrico (Maeng, 2023)**

Pertanto individuare il generatore ideale per il proprio prototipo, significa di fatto cercare un motore elettrico che sviluppa circa la stessa potenza che una persona è in grado di sviluppare con i muscoli delle gambe mentre pedala. La potenza che un motore elettrico è in grado di sviluppare si calcola come:

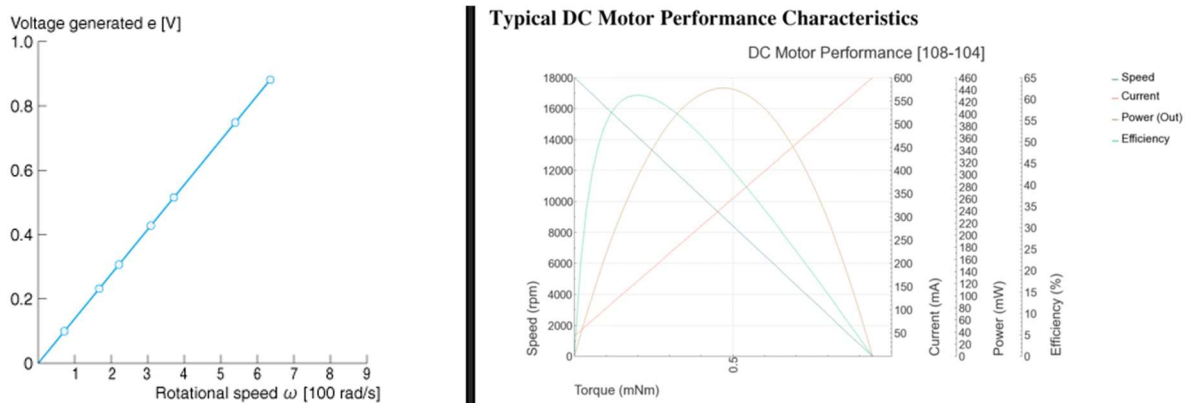
$$P = Vi [W],$$

dove  $V$  è la tensione di alimentazione (misurata in volt [V]) ed  $i$  è la corrente (misurata in ampere [A]) che circola nei cavi del circuito. Oltre a ciò è risaputo che la potenza meccanica sviluppata da un qualsiasi motore può essere analogamente calcolata come:

$$P = C\omega [W],$$

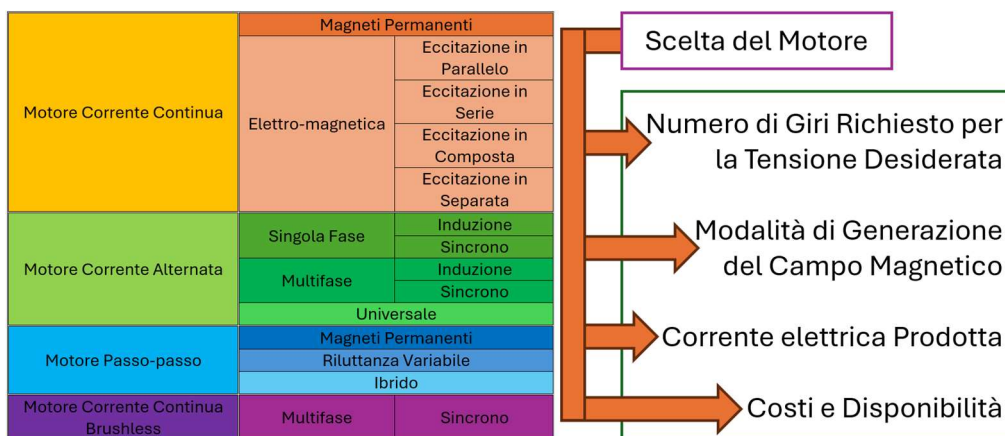
dove  $C$  è la coppia (misurata in newton-metri [Nm]) esercitata sull'albero del rotore ed  $\omega$  è la sua velocità angolare di rotazione (misurata in radianti al secondo [rad/s]); perciò individuare la correlazione tra le due formule non è molto complicato. Infatti la tensione determina la velocità alla

quale far ruotare il motore, mentre la corrente stabilisce la forza che le gambe dovranno imprimere sui pedali per consentirle di circolare nel circuito (De Decker, 2022). Quando un motore lavora come un generatore, la tensione che viene garantita dai suoi morsetti in uscita è strettamente legata alla velocità a cui ruota il rotore, secondo una relazione che cambia in base al modello scelto (figura 45). Mentre invece la corrente che verrà pretesa dal carico collegato determinerà l'intensità dello sforzo richiesto durante la pedalata, siccome essa è condizionata dalla f.e.m. (forza elettromotrice), cioè il rapporto tra il lavoro compiuto per muovere le cariche elettriche lungo il circuito e la quantità di carica spostata: pertanto possono capitare delle situazioni nelle quali la resistenza sui pedali sarà insignificante ed in altre al contrario sarà elevata. Di conseguenza ogni costruttore deve rilasciare insieme al modello fabbricato una scheda tecnica con tutte le principali caratteristiche del motore e tra queste specifiche deve anche essere presente sia il valore di tensione, in assenza di carico, raggiunta al numero di giri nominale del rotore, che la caratteristica delle prestazioni.



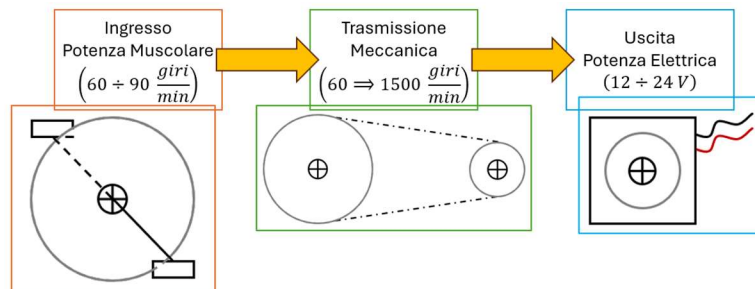
**Figura 45-Andamento della tensione in funzione della velocità di rotazione del rotore di un motore elettrico DC (Sinistra: Nidec); tipica caratteristica delle prestazioni di un motore DC (Destra: Precision Microdrives)**

Esistono molte tipologie di motori elettrici (Bishop, 2002) per le più disparate applicazioni, ma la scelta del modello adatto può essere semplificata grazie ad alcune specifiche tecniche, e di progetto, che sono già disponibili. Infatti gli aspetti che devono assolutamente essere controllati durante la sua selezione sono il numero di giri necessario a produrre il valore di tensione desiderato, la modalità con la quale viene generato il campo magnetico indispensabile per il regolare funzionamento dell'apparecchio (si richiede un'eccitazione esterna oppure vengono adoperati dei magneti permanenti), la tipologia di corrente prodotta (alternata o continua) ed infine il costo e la sua disponibilità (figura 46).



**Figura 46-Principali tipologie di motore elettrico e le informazioni che consentono di effettuare una selezione**

I generatori a pedali sviluppano tipicamente tensioni piuttosto basse (12 V o 24 V), avendo appurato che la velocità di pedalata media di un generico operatore si colloca intorno ai 60-90 giri al minuto, che con i corretti rapporti di trasmissione corrispondono ad un numero di giri del rotore abbastanza contenuto, circa 1500 giri al minuto (figura 47).



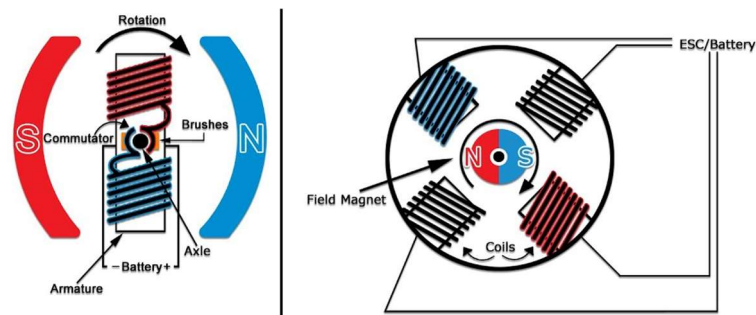
**Figura 47-Schema del apparato di generazione dell'elettricità**

Solitamente poi è preferibile lavorare con correnti continue (CC oppure DC in inglese, Direct Current), poiché i motori a corrente alternata (CA oppure AC in inglese, Alternate Current) per agire come generatori devono essere alimentati a loro volta con questo stesso tipo di corrente per formare il campo magnetico; per questo motivo vengono quasi sempre esclusi. Da questa prima analisi si deduce che è opportuno servirsi solamente di motori a corrente continua a magneti permanenti, con o senza spazzole, oppure di alternatori. Tuttavia anche questi ultimi per lavorare devono essere riforniti con della corrente, in questo caso però si tratta di corrente continua, quindi si dovrà semplicemente predisporre il sistema con una batteria, che verrà comunque caricata nel momento in cui l'operatore inizierà a pedalare. A causa della complessità del circuito necessario per far funzionare un generatore elettrico a pedali che adopera un alternatore, e l'esigenza imprescindibile di una batteria, spesso ne limita l'impiego; inoltre l'efficienza tipicamente di poco superiore rispetto ad un motore a magneti permanenti, in molti casi non riesce in ogni caso a giustificare l'utilizzo. Di conseguenza la scelta del motore solitamente ricade su quelli a magneti permanenti, con o senza spazzole, che in entrambi i casi condividono il circuito elettrico finale che deve essere realizzato, a meno di qualche trascurabile differenza. In aggiunta potrebbe essere utile precisare che i motori senza spazzole, o in inglese brushless, in certi casi richiedono delle velocità di rotazione piuttosto elevate (De Decker, 2022), perciò abbastanza ardue da raggiungere in questo tipo di applicazioni, e mediamente sono più costosi, ma l'assenza delle spazzole garantisce una manutenzione minore e meno frequente ed anche una ridotta rumorosità durante l'esercizio. Insomma, volendo riassumere, da questa analisi preliminare si giunge alla conclusione che la selezione del generatore più idoneo non presenta particolari difficoltà, anzi è quasi ovvia, essendo sostanzialmente limitata ad una sola tipologia (massimo due) di motori elettrici, cioè quelli a magneti permanenti e in corrente continua (figura 48).

Motore Corrente Continua	Elettro-magnetica	Eccitazione in Parallelo
		Eccitazione in Serie
		Eccitazione in Composta
		Eccitazione in Separata
Motore Corrente Alternata	Singola Fase	Induzione
		Sincrono
	Multifase	Induzione
		Sincrono
Motore Passo-passo	Universale	
	Magnet Permanenti	
	Riluttanza Variabile	
	Ibrido	
Motore Corrente Continua Brushless	Multifase	Sincrono

**Figura 48-Selezione preliminare del motore elettrico**

Avendo individuato gli esemplari di motori che si possono adoperare in questo conteso, allora è altresì opportuno descrivere qualitativamente le loro caratteristiche e diversità strutturali (figura 49). In generale comunque tutti i motori elettrici sono composti da uno statore, un rotore e un'armatura, che individuano rispettivamente la parte fissa, la componente rotante e l'insieme dei cavi elettrici attraversati dalla corrente (sempre alternata in tutte le categorie di motori); inoltre non può mancare un sistema per la generazione del campo magnetico. Il tipo di motori che si stanno studiando si avvalgono di alcuni magneti permanenti per generare il campo magnetico, ma nel caso dei modelli con le spazzole essi vengono collocati nello statore, viceversa nel caso dei brushless si trovano nel rotore. Similmente anche l'ubicazione dell'armatura permette di distinguere una famiglia di motori dall'altra: se viene collocata nel rotore allora dovranno essere provvisti delle spazzole, mentre invece se venisse posta nello statore, dovranno di conseguenza esserne sprovvisti. A conti fatti le spazzole, oltre a consentire alla corrente di entrare oppure uscire dal dispositivo, hanno contemporaneamente la responsabilità di raddrizzare la corrente alternata che circola nell'armatura. Per questa ragione i motori che non le possiedono devono essere alimentati con una corrente alternata; nel caso poi venissero impiegati come generatori allora la corrente che produrranno sarà a sua volta alternata.



**Figura 49-Schema dei Motori in corrente continua: con le spazzole (Sinistra: Kinmore) o senza (Destra: Kinmore)**

### 5.3-Il Circuito Elettrico

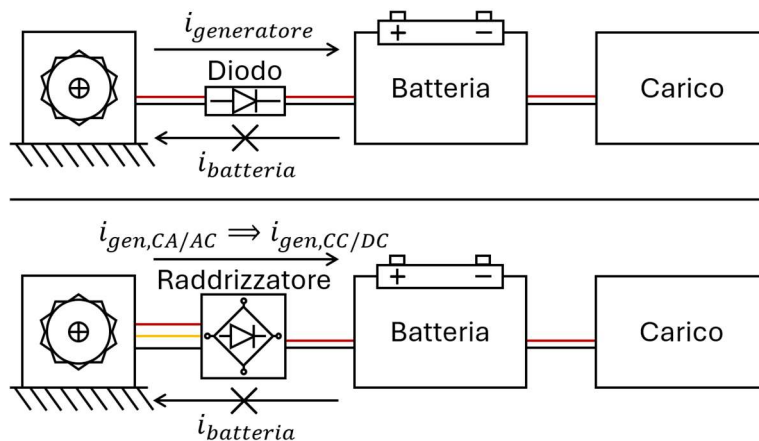
Trasformare l'energia meccanica in energia elettrica è solamente il primo passaggio che un generatore elettrico a pedali deve completare: successivamente è indispensabile realizzare un circuito elettrico che assicuri di trasferire efficacemente l'elettricità prodotta verso l'utenza che si vuole alimentare. La progettazione di questi apparati, però, è fortemente influenzata sia dal tipo di motore scelto per lavorare come generatore, che dalla tipologia di dispositivi che si vorranno collegare (figura 50).



**Figura 50-Caratteristiche che deve possedere il circuito elettrico**

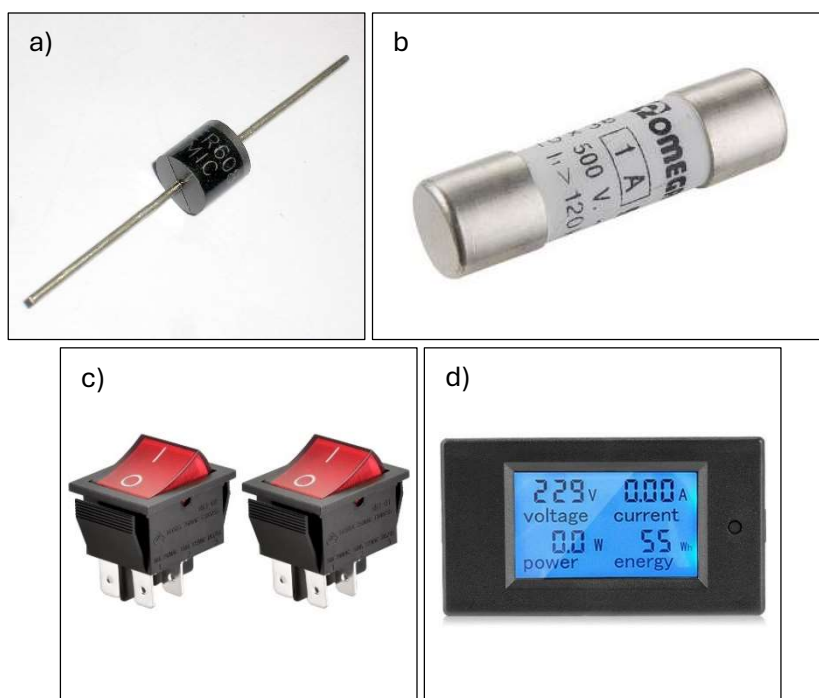
Ora, avendo appurato che sia preferibile adoperare motori in corrente continua con magneti permanenti, con oppure senza le spazzole, e dovendo effettuare le stesse attività con il dispositivo, qualunque sia il motore che si decide di utilizzare, il circuito che verrà progettato è praticamente lo stesso, vista la somiglianza tra i due motori. L'unica differenza sostanziale tra un modello con le spazzole ed uno che non le possiede consiste nell'inserimento rispettivamente o di un diodo oppure di un raddrizzatore (a ponte di diodi, poiché appunto questo tipo di motore produce corrente alternata anziché continua), che svolgono il compito, nel caso sia stata collegata una batteria, di garantire che la corrente elettrica circoli in una sola direzione e quindi che il generatore non torni a funzionare come un motore (figura 51).





**Figura 51-Proprietà del diodo (Sopra) e del raddrizzatore a ponte di diodi (Sotto)**

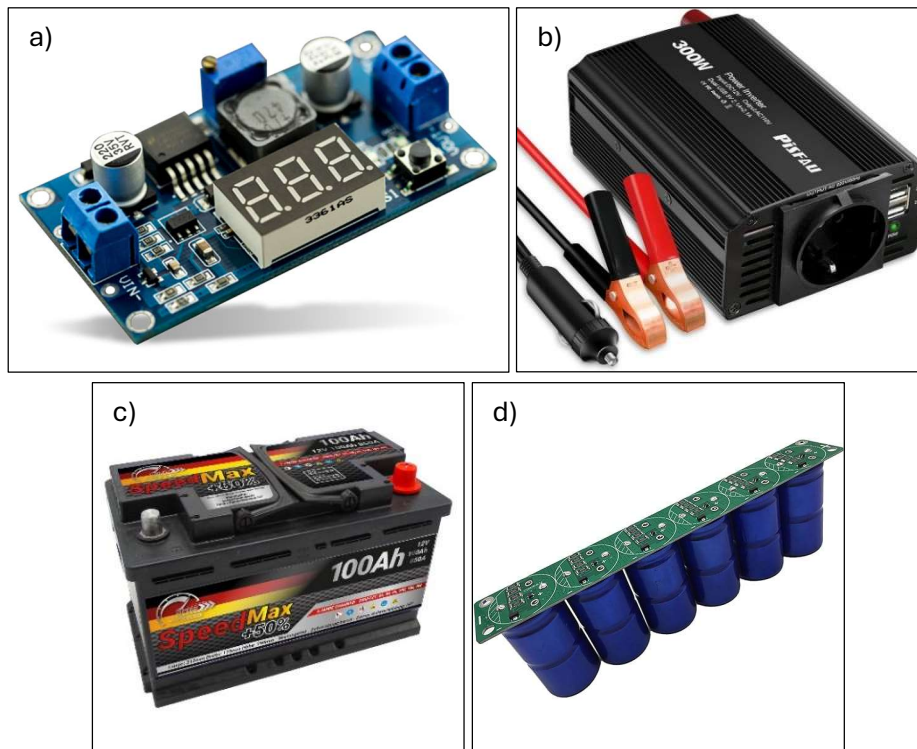
Ad ogni modo gli altri elementi essenziali per garantire il corretto funzionamento dell'intero macchinario, oltre alla sicurezza dell'operatore e dell'intero apparato, sono un fusibile, alcuni interruttori, un misuratore di potenza e come anticipato, nell'eventualità si inserisse una capacità di accumulo, un diodo o un raddrizzatore a ponti di diodi (figura 52). Inserire un fusibile risulta molto utile per salvaguardare l'integrità del circuito, perché interromperà la circolazione della corrente nel caso di sovraccarichi, vale a dire nella situazione in cui la quantità che ne viene prodotta dal generatore raggiunga un certo valore limite troppo alto che quindi andrebbe a danneggiare il resto dei componenti. Spesso poi vengono aggiunti degli interruttori, che permettono di scollegare il generatore dalla singola utenza quando la si sta utilizzando (cioè non è stato collegato nessun carico) oppure quando si smette di pedalare, ed un misuratore di potenza per poter controllare l'energia elettrica che viene sviluppata.



**Figura 52-Componentistica del circuito elettrico: a) un diodo (FFIME), b) un fusibile (Eaton), c) degli interruttori (Heschen) e d) un misuratore di potenza (Jectse)**

Infine sono poi anche assolutamente richiesti degli strumenti che permettano di manipolare, convertire e regolarizzare il flusso di elettricità sviluppata dal generatore prima che possa essere ceduta ed accettata dal carico (figura 53). Quindi si dimostra oltremodo necessario dotare il sistema di un paio di convertitori DC-DC, i quali sono in grado di modificare il voltaggio che gli viene fornita all'ingresso,

restituendo sempre lo stesso valore desiderato; che può essere maggiore oppure minore di quella di partenza. In questo modo la tensione che ricevono dal generatore viene stabilizzata alla specifica quantità che esige l'utenza. Invece se si desidera normalizzare la potenza che il macchinario dovrà erogare, oppure sopperire alle richieste irregolari dei dispositivi da alimentare, e allo stesso tempo immagazzinare l'eccesso per utilizzarla in un secondo momento, può essere molto utile aggiungere una capacità di accumulo elettrico nel circuito, che può essere una batteria oppure un super-condensatore. L'ultimo apparecchio richiesto è un inverter, essenziale per variare la corrente sviluppata dal generatore da continua in alternata, cosicché sia possibile dotare il macchinario di una comune presa domestica (110/220 V in corrente alternata).

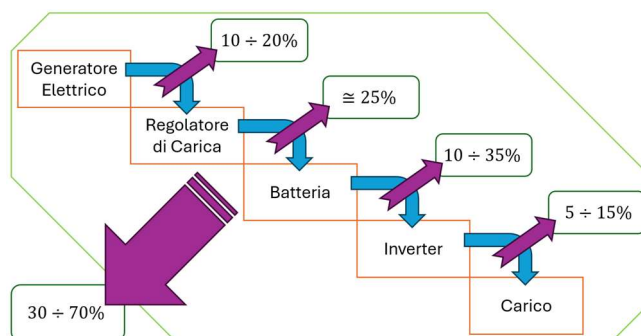


**Figura 53-Dispositivi che si occupano di trasformazione l'energia elettrica: a) un convertitore DC-DC (Arduino), b) un inverter (PiSFAU), c) una batteria (SMC) ed d) un super-condensatore (Ticfox)**

### 5.3.1-Le Criticità del Circuito Elettrico

Gli esseri umani, ad oggi, non sono in grado di realizzare dei macchinari capaci di svolgere un determinato lavoro con un rendimento unitario, maggiore è il numero di trasformazioni nel sistema implica che maggiori saranno le perdite nel processo di conversione della potenza. Per questo motivo generare elettricità è nettamente più inefficiente rispetto al semplice azionamento meccanico diretto di un utensile. Normalmente l'elettricità in uscita dal generatore non può essere adoperata così com'è, ma, come si è già constatato, deve essere prima rielaborata, e ciò comporta inevitabilmente delle perdite che riducono le prestazioni dell'intero apparato. Il motore-generatore elettrico in queste applicazioni viene fatto lavorare ad una velocità di rotazione che non gli consente di raggiungere la sua massima efficienza, fermandosi ad un 60-80%. Inoltre questi dispositivi producono elettricità in corrente continua o direttamente (caso di motore con spazzole) oppure dopo una rettifica (caso di motore senza spazzole), pertanto nella prima delle due soluzioni le perdite saranno minori. Ora in base al tipo di utenza che si vuole alimentare varieranno di conseguenza anche il numero di conversioni che si dovranno effettuare. Nell'eventualità che si vogliano ricaricare semplicemente degli smartphone, o dei dispositivi simili, in tal caso sarà unicamente necessario un ulteriore convertitore DC-DC, che riduca la tensione in uscita dal generatore a 5V, mentre la corrente continua rimane invariata; vengono garantiti dei rendimenti piuttosto elevati, circa del 95%. Se invece si volessero alimentare degli utensili

o elettrodomestici che richiedono una tensione a 110/220 V e in corrente alternata, allora è fondamentale adoperare un inverter, o convertitore DC-AC, che presentano dei rendimenti che spaziano dal 60 al 90%. Infine aggiungere una batteria all'interno del sistema, comporta delle ulteriori perdite decisamente non trascurabili e riguardano sia l'inefficienza della batteria stessa che del suo dispositivo di controllo, il quale si occupa della gestione del processo di ricarica; perciò le perdite raggiunte sono circa del 15-35% nella batteria e del 25% nel regolatore di carica o tensione. Ciò significa che i generatori elettrici a pedali sono caratterizzati da dei rendimenti che oscillano tra il 30 e il 70% (figura 54), a seconda della progettazione e della qualità del circuito realizzato; nelle migliori condizioni un quarto della potenza spesa dall'operatore viene persa, nel peggiore due terzi diventano inutilizzabili (De Decker, 2011; Gregory, 2019).

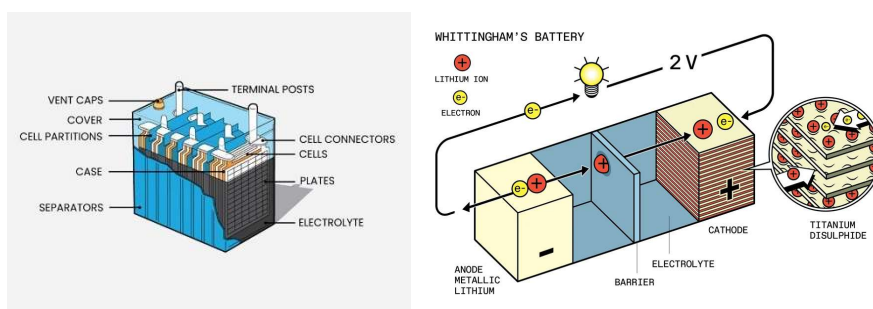


**Figura 54-Conteggio delle perdite che tipicamente interessano il circuito di un comune generatore elettrico a pedali**

Già questa prima analisi è sufficiente per accorgersi chiaramente che una progettazione accurata di un generatore elettrico a pedali è essenziale prestare la massima attenzione alla componentistica che si decide di impiegare, cercando se possibile di rimuovere tutto ciò che si rivela superfluo e che concorre soprattutto ad aumentare gli sprechi.

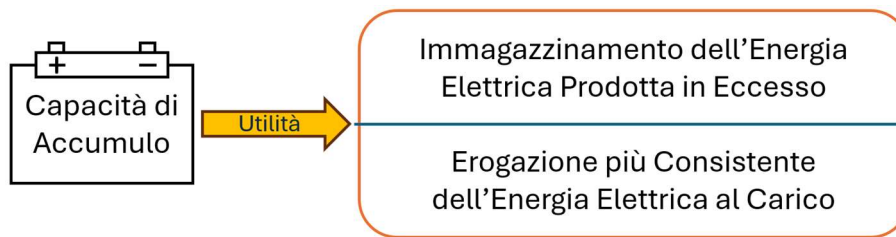
### 5.3.1.1-Batteria o Super-condensatore?

La capacità di accumulo merita un discorso a parte siccome rappresenta, se installata, il componente più debole e critico dell'intera apparecchiatura: ad esempio, se si decidesse di adoperare una batteria, le cui versioni principali sono quelle al piombo o al litio (figura 55), verrebbero introdotte delle perdite che non sarebbero assolutamente trascurabili in fase di progettazione, specialmente se si cerca di realizzare un macchinario il più prestante possibile.



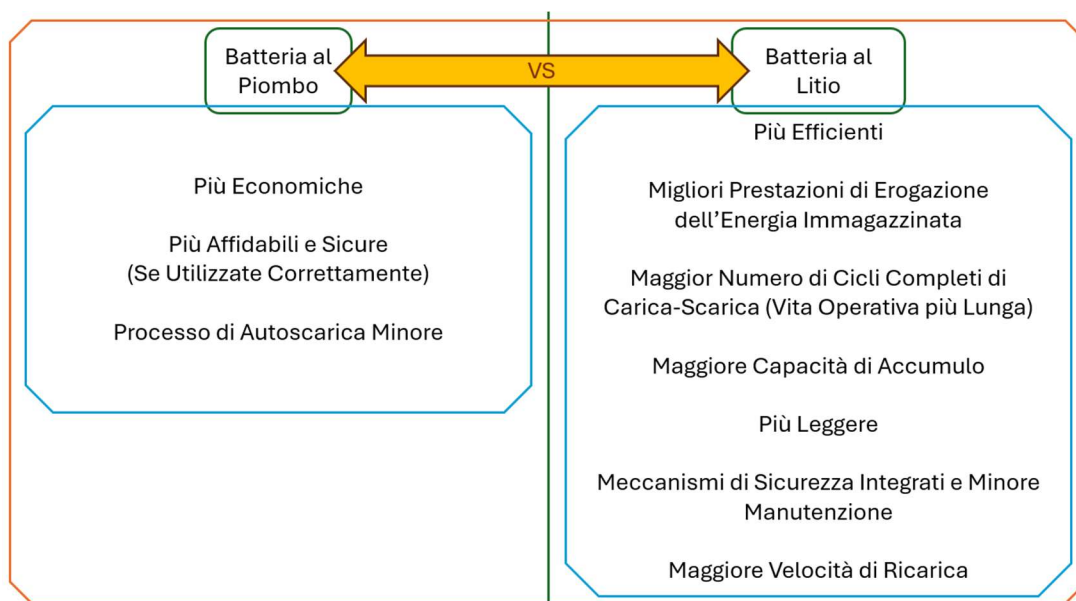
**Figura 55-Esempio di batteria al piombo (Sinistra: Tycorun, 2022) e al litio (Destra: Murray, 2023)**

L'unico fattore veramente positivo che è in grado di offrire una capacità di accumulo consiste nell'assicurare al carico un assorbimento della potenza più consistente e permettere in aggiunta di immagazzinare l'energia prodotta in eccesso durante l'esercizio e di rilasciarla successivamente (figura 56): quindi è vantaggiosa solo nelle situazioni in cui si desiderasse alimentare un dispositivo, sprovvisto di una batteria interna, che smetterebbe di funzionare nell'istante in cui si fermassero i pedali.



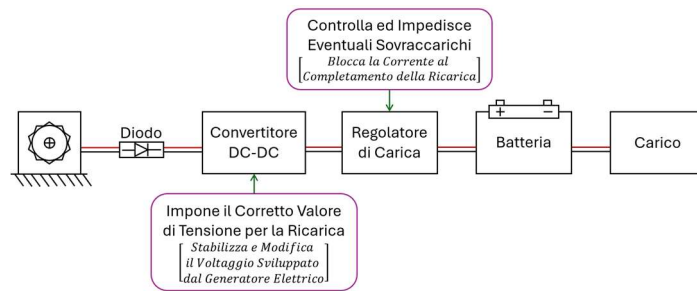
**Figura 56-Proprietà di una capacità di accumulo elettrica**

Come se non bastasse, ragionando in termini energetici, le batterie non sono affatto ecosostenibili, dal momento che l'energia necessaria alla loro produzione potrebbe non venire mai uguagliata da quella che è possibile generare pedalando. Questo discorso riguarda nello specifico i modelli al piombo a causa del modesto numero di cicli di carica-scarica che sono in grado di sopportare, compresi tra i 200 e i 300. In aggiunta se si considerano poi la tossicità dei materiali con cui vengono costruite ed il deterioramento nel tempo delle prestazioni che impone una sostituzione appena viene raggiunto il numero di cicli di carica-scarica che determina il loro fine vita, non è possibile trascurare l'enorme impatto che questi rifiuti arrecano sull'ambiente (De Decker, 2011). Come già anticipato, però, le tipologie di batterie ricaricabili più diffuse sul mercato sono quelle al piombo e quelle al litio, perciò se si decidesse di usarne una nel proprio sistema, allora sarebbe indispensabile conoscere i corrispondenti punti di forza (figura 57), per poter effettuare conseguentemente una scelta appropriata ed efficace (Battery University, 2016; SunIsYou, 2017).



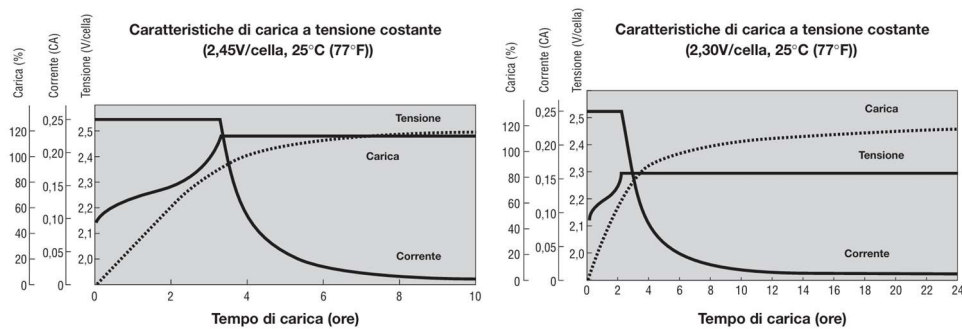
**Figura 57-Principali differenze tra le batterie al piombo e quelle al litio**

Ciò nonostante, qualunque sia la batteria selezionata, durante l'utilizzo non sono comunque esenti da alcune criticità. Difatti per poter effettuare la loro ricarica non è sufficiente conoscere soltanto il massimo voltaggio che possono sopportare, ma bisogna pure prestare la massima attenzione a non incorrere in un sovraccarico, altrimenti potrebbero addirittura esplodere. Perciò è sempre preferibile adottare delle misure di sicurezza aggiuntive che consistono spesso nell'incorporare uno strumento, un regolatore di carica, che controlli la corrente che la attraversa (figura 58). Senza questa aggiunta l'incolumità dell'operatore e l'integrità del dispositivo non potrebbero altrimenti essere correttamente garantite, ma ovviamente al tempo stesso contribuirebbe ad incrementare ulteriormente le già considerevoli perdite. Perlomeno i regolatori di carica più frequentemente usati in contesti come quello della produzione di energia elettrica con generatori a pedali sono gli stessi adoperati negli impianti fotovoltaici ed eolici.



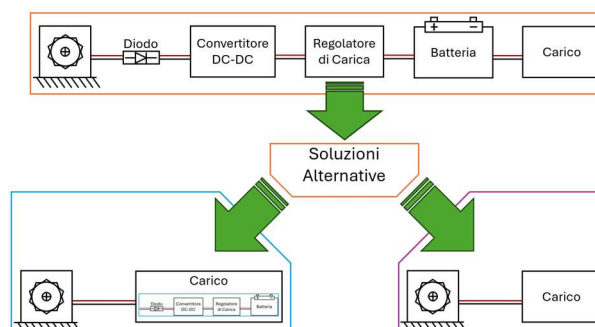
**Figura 58-Schema del sistema di regolazione del processo di carica della batteria**

La configurazione del circuito descritta nella figura 50, comunque, è in realtà la diretta conseguenza di un'altra nozione: di solito il processo di ricarica più sfruttato viene condotto imponendo una tensione costante (figura 59). Perciò mediante un convertitore DC-DC si impone un certo voltaggio, appropriato esclusivamente per la batteria selezionata (per quelle a 12 V, spesso si richiedono 14,4 V). Tuttavia, come anticipato, nell'esatto momento in cui si completa la procedura, sarà allora opportuno interrompere immediatamente la corrente che la attraversa, altrimenti si potrebbe incorrere in un danneggiamento irreparabile e decisamente pericoloso. Per questa ragione viene spesso consigliato di anteporre alla batteria, subito dopo il convertitore, anche un regolatore di carica, che controlli la corrente che circola e che dovrà interromperne immediatamente il flusso nel momento in cui essa scende al 3% della capacità di accumulo nominale della batteria (definita in Ah), poiché ciò indica appunto il completamento della ricarica.



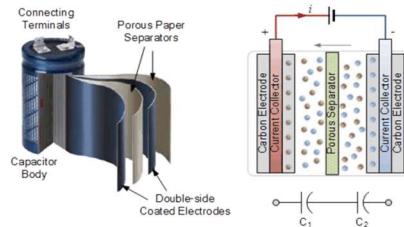
**Figura 59-Comportamento della tensione e della corrente durante un generico ciclo di carica di una batteria, condotto a tensione costante (Fiamm-GS)**

Infine è inoltre fortemente raccomandato prestare la massima attenzione a non scaricare completamente la batteria, soprattutto per quanto riguarda quelle al piombo, poiché provocherebbe la degradazione della sua capacità di accumulo di energia. Tutte le accortezze pretese dai circuiti elettrici appena discussi spingono diverse soluzioni a non prevedere l'impiego di alcuna batteria, mentre altre la considerano parte dell'utenza esterna, cioè un apparecchio che deve essere semplicemente ricaricato (figura 60).



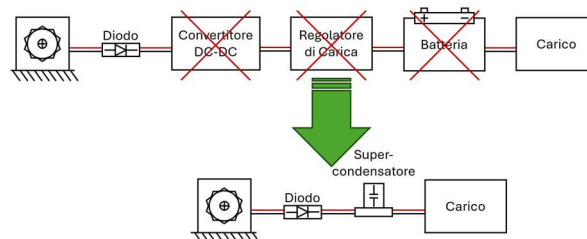
**Figura 60-Soluzioni alternative al circuito elettrico con batteria**

In alternativa altre ancora preferiscono adoperare dei super-condensatori (o ultracondensatori) al loro posto, che sono più prestanti, ecosostenibili ed affidabili, permettono cioè un maggior numero di cicli di carica-scarica e sono molto più rapidi nell'accogliere o rilasciare (quasi istantaneamente) le cariche elettriche che normalmente riescono ad ospitare (figura 61); tuttavia possono accumulare meno energia rispetto ad una batteria. Il principio di funzionamento è lo stesso che governa i più comuni condensatori, con l'unica differenza però di riuscire ad ospitare una maggiore quantità di cariche.



**Figura 61-Esempio di un super-condensatore (ES Components)**

Ora, sebbene vengano principalmente adoperati in applicazioni in cui si eseguono in rapida successione dei cicli di carica-scarica, ma non mancano comunque le soluzioni, soprattutto in contesti ridotti, dove vengono adottati come delle semplici capacità di accumulo proprio grazie ai rendimenti superiori che possono offrire. Si preferiscono appunto perché non necessitano di ulteriori dispositivi per garantire la sicurezza degli altri componenti e dell'operatore, in particolar modo nei circuiti in corrente continua (figura 62).



**Figura 62-Semplificazione del circuito elettrico impiegando un super-condensatore**

Quale soluzione adottare è comunque una scelta strettamente condizionata dal tipo di applicazioni in cui si desidera impiegare il proprio generatore a pedali. Infatti nel caso in cui si volessero collegare dei carichi che presentano una richiesta di potenza variabile, cioè con dei picchi di corrente (dovendo la tensione rimanere costante), allora si dimostra molto utile predisporre una capacità elettrica (una batteria o un super-condensatore), per poter sopperire a queste domande irregolari, che implicherebbero altrimenti un esercizio abbastanza sgradevole per l'operatore (De Decker, 2022).

## 5.4-Casi Studio: Generatore Elettrico a Pedali

I generatori elettrici a pedali sono dei macchinari che concettualmente possono essere suddivisi in due sottogruppi principali, uno relativo alla trasmissione meccanica del moto, mentre il secondo concerne la trasformazione della potenza da muscolare ad elettrica e la sua successiva distribuzione verso il carico che è stato collegato al dispositivo (ossia il motore ed il circuito elettrico). L'indagine condotta nei capitoli precedenti, riguardo ad alcuni macchinari ad azionamento umano diretto, ha già permesso di individuare le soluzioni più adatte e prestanti che torneranno molto utili in fase di modellazione della sezione del generatore che appunto concerne il trasferimento meccanico del movimento dei pedali. Tuttavia un'analisi preliminare del motore elettrico e del circuito elettrico, e degli elementi che lo compongono, ha fatto emergere alcune nuove criticità che dovranno essere chiarite. Per questo motivo è stato selezionato un nuovo gruppo di casi studio (quindici in tutto), con l'intento di esaminare le soluzioni che sono state adottate per risolvere gli elementi più deboli dell'intero sistema, cosicché vengano semplificate le scelte da effettuare nel momento in cui si dovrà progettare il prototipo.

## 5.4.1-Pedal Powered Electricity Generator Project

Un progetto di NevonProjects (NevonProjects).

- **Contesto**

Questo generatore elettrico a pedali consente di produrre energia elettrica in qualunque posto ed in qualsiasi momento, soprattutto in quelle situazioni nelle quali non è possibile fare affidamento su altre fonti di energia rinnovabile.

- **Immagine d'Insieme**



Figura 63

- **Funzionamento**

Il dispositivo, come la maggior parte delle soluzioni degli altri progetti di generatore elettrico a pedali, è molto semplice da utilizzare. Infatti sarà necessario posizionare a terra l'apparecchio e collocare una sedia alla giusta distanza affinché sia immediatamente possibile generare elettricità pedalando.

- **Dettagli Tecnici**

Il sistema consiste di due ruote dentate, una collegata ai pedali e l'altra al generatore, ed una catena. Il motore-generatore, a corrente continua, è stato fissato alla giusta distanza, per consentire una tensione ottimale alla catena, ad una struttura metallica. Le dimensioni sono 40 x 100 x 60 centimetri.

- **Particolari e Disegni**

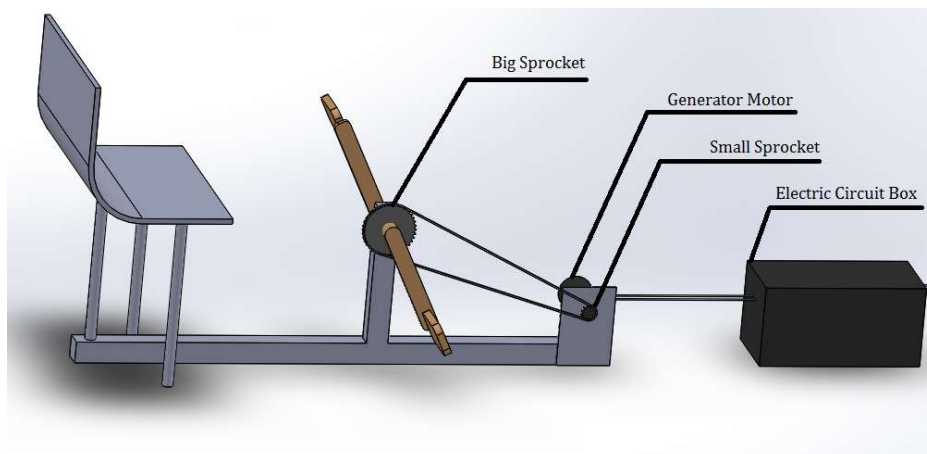


Figura 64

## 5.4.2-Practical Household Bike Generator

Un progetto di Kris De Decker e Marie Verdeil, per LOW<TECH MAGAZINE (De Decker, 2022).

- **Contesto**

Il dispositivo è stato progettato come un mezzo per generare energia elettrica mentre si eseguono dell'attività fisica, ma anche e soprattutto a scopo divulgativo, per insegnare quali sono gli aspetti fondamentali nel caso in cui si volesse realizzare il proprio generatore a pedali fatto in casa. In aggiunta può anche essere integrato in un impianto fotovoltaico già presente nell'abitazione.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 65**

- **Funzionamento**

Per poter utilizzare questo dispositivo l'operatore deve prima di tutto collegare l'apparecchiatura che intende alimentare o ricaricare e poi attivare l'interruttore dell'utenza corrispondente, infine può prendere posto sul sellino della cyclette ed iniziare a pedalare. Il pannello di controllo montato sul manubrio consente di tenere sotto controllo la tensione (volt) e la corrente (ampere) che il generatore sta sviluppando mentre si pedale e mediante degli interrutture è possibile indirizzare il flusso di potenza in base al numero e al tipo di apparecchiature che sono state nel mentre collegate al macchinario.



### ○ Dettagli Tecnici

Per costruire questa postazione di generazione di energia elettrica è stata adoperata principalmente una vecchia cyclette BH del 1950, una batteria al piombo, un pannello di controllo e un motore a magneti permanenti (corrente continua). Il trasferimento della potenza avviene accoppiando alla trasmissione nativa della cyclette una ruota di frizione, che trasmette il movimento del volano all'albero del motore, convertito in generatore. Nella parte anteriore del macchinario è stata fissata una struttura che ospita un inverter (per trasformare la corrente continua in uscita dal generatore in corrente alternata a 220 V), una batteria al piombo e un regolatore di carica eolica (per controllare la ricarica della batteria); mentre sul manubrio è stato agganciato il pannello di controllo, sul quale si trovano un voltmetro ed un amperometro, i circuiti di alimentazione delle diverse utenze e i relativi interruttori, un potenziometro (dimmer), due buck converter e un boost converter. Il sistema così progettato prevede due circuiti a 5 V per apparecchi USB, tre circuiti a 12 V, un circuito a 14,4 V per la ricarica della batteria al piombo, un circuito a 220 V ed infine un circuito non regolato che si trova alla stessa tensione che c'è in uscita dal generatore. Inoltre, affinché il dispositivo possa funzionare correttamente, sono anche necessari un diodo, che impedisca alla batteria di alimentare il generatore e quindi trasformarlo in un motore, ed un fusibile, che interrompe il circuito nel caso in cui si superi un certo valore di soglia della corrente.

### ○ Particolari e Disegni

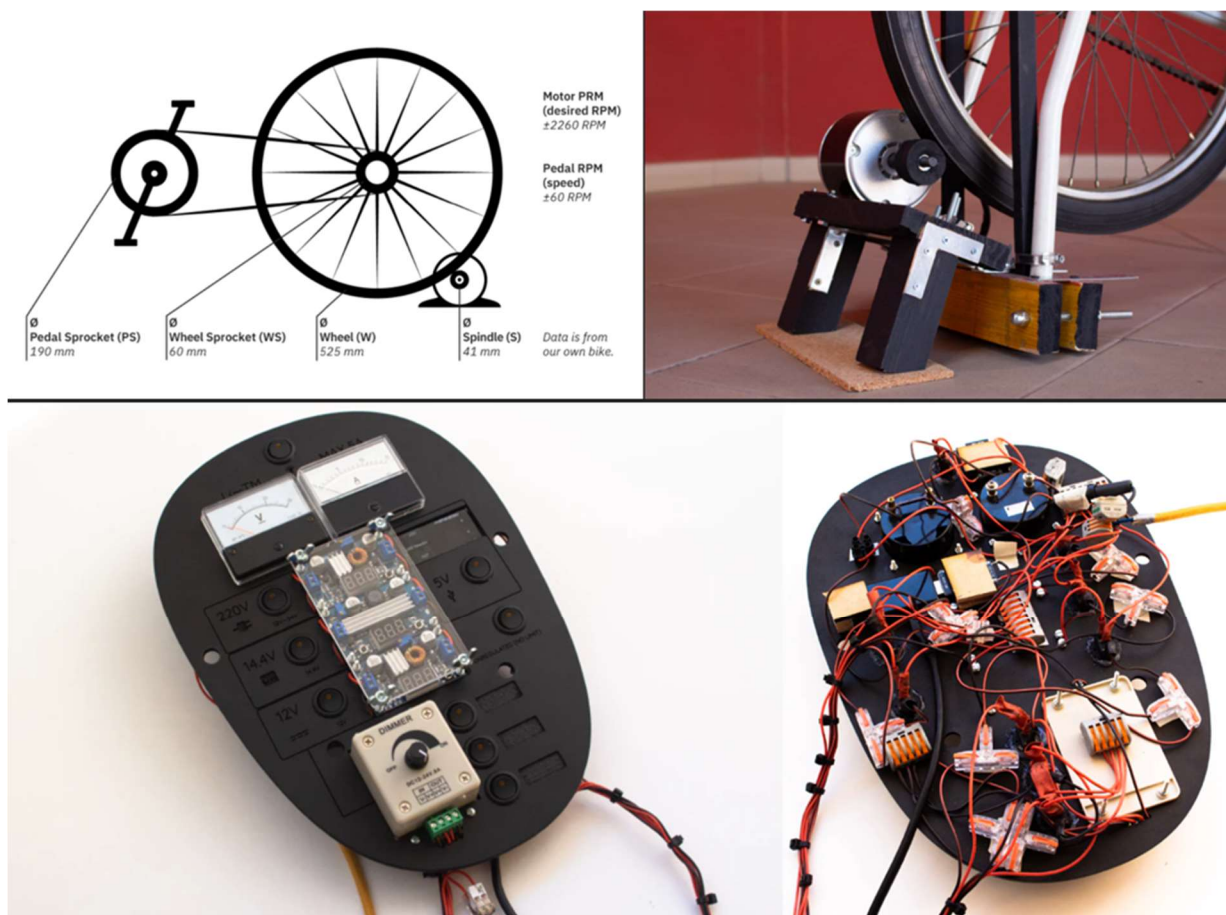


Figura 66.a

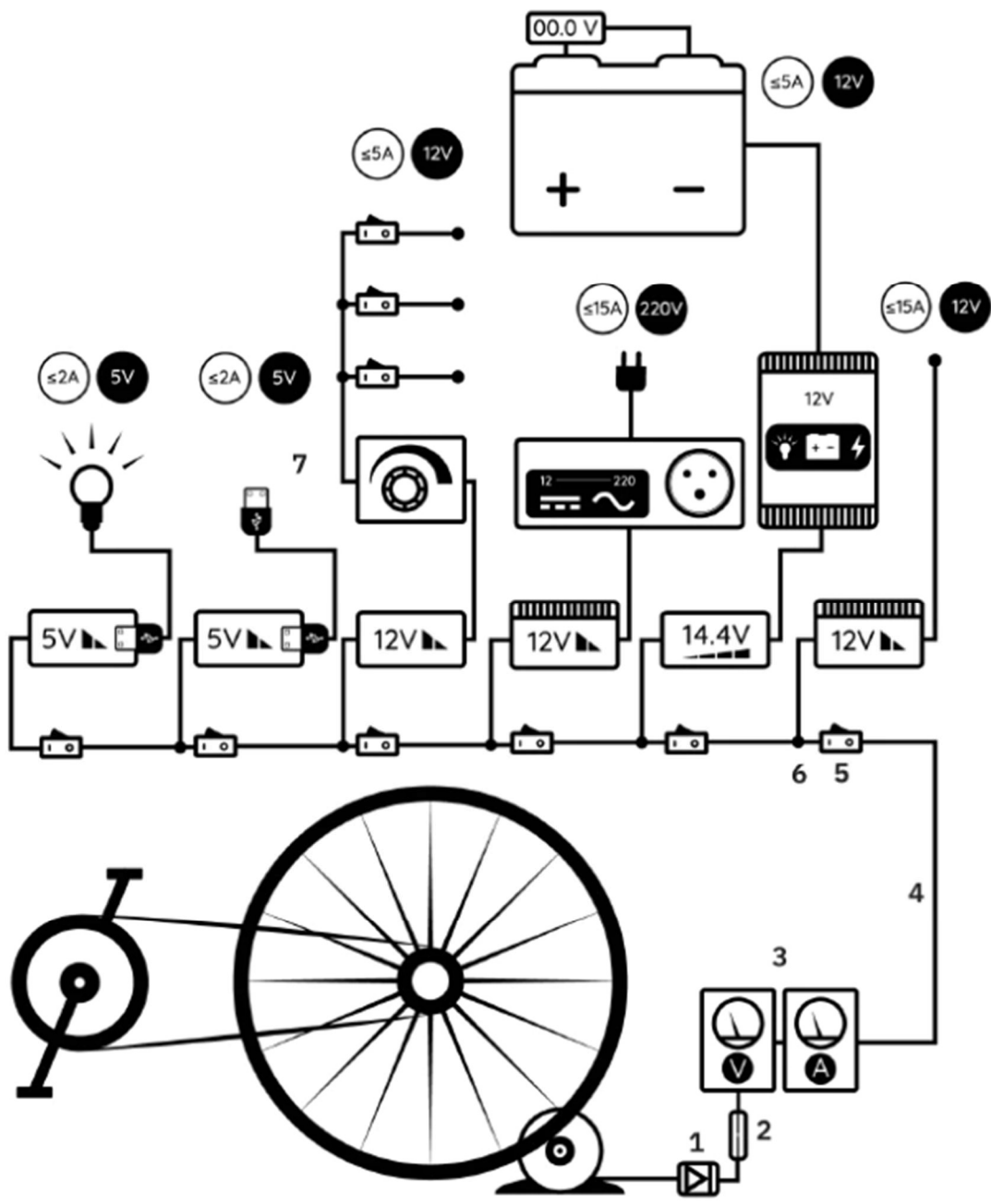


Figura 65.b

### 5.4.3-Pedal Powered Prime Mover (PPPM)

Un progetto di David Butcher (Czap, 2008).

- **Contesto**

Il PPPM è un dispositivo pensato per l'allenamento e allo stesso tempo per ricaricare delle batterie, dei laptop o smartphone, oppure per alimentare degli elettrodomestici. Inoltre permette di svolgere dell'attività di carpenteria grazie alla possibilità di collegare meccanicamente un certo numero di strumenti da lavoro.

- **Immagine d'Insieme**



Figura 67

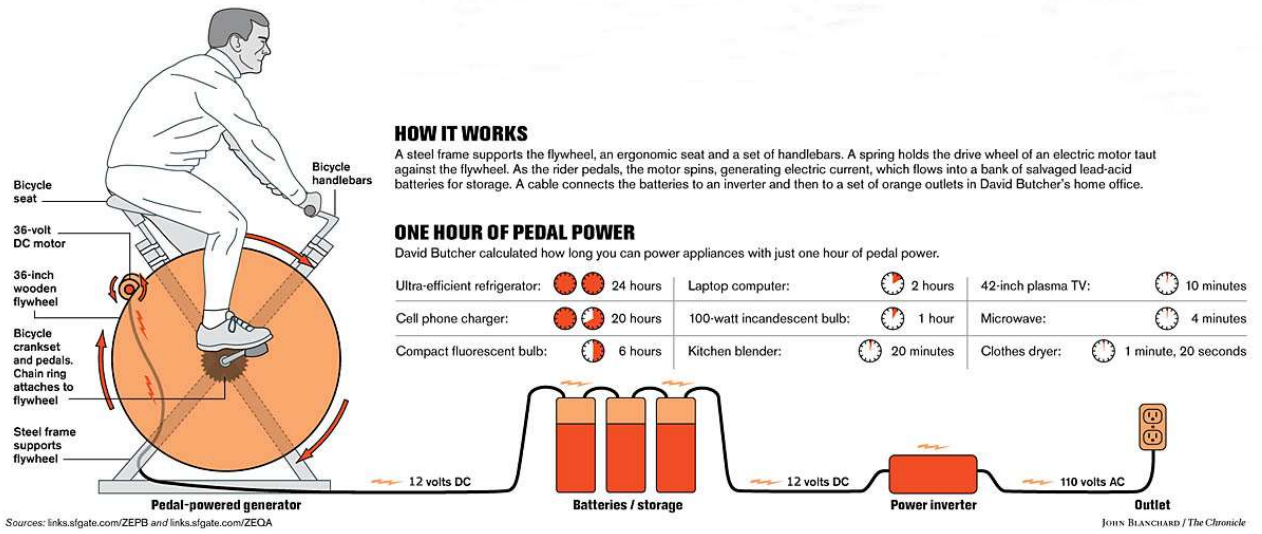
- **Funzionamento**

Dopo aver scelto quale apparecchio alimentare e averlo collegato al generatore elettrico è possibile iniziare immediatamente la sessione di allenamento sulla "cyclette". In alternativa il PPPM può anche assistere in vari lavori manuali che si possono svolgere nella propria abitazione, poiché è possibile collegare direttamente, in modo meccanico, una sega, un compressore d'aria, una pompa idraulica, uno scalpello da muratura e un martello.

- **Dettagli Tecnici**

La struttura principale che sorregge l'intero progetto è stata realizzata a partire da sostegni per scaffali in acciaio, mentre il volano, al quale sono direttamente collegati i pedali, è realizzato completamente in legno. La trasmissione del moto, dai pedali al generatore, avviene per mezzo dell'attrito di contatto tra un ruotino, calettato sull'albero del generatore, e il volano; l'autore del progetto afferma che le soluzioni adottate nella realizzazione hanno permesso di migliorare del 25-50% l'efficienza rispetto ai progetti che si possono trovare sulla rete. Il solo generatore elettrico è in grado di produrre una potenza a 12 V durante un normale esercizio, perciò la configurazione tipica del sistema viene completata con un misuratore di potenza, un ultracondensatore ed un inverter.

○ **Particolari e Disegni**



**Figura 68**

#### 5.4.4-Cyclette+Alternatore Auto

Un progetto di Manuele Pregolato (Pregolato, 2023).

- **Contesto**

L'apparecchio è stato progettato con l'idea di trasformare la potenza prodotta da una persona durante un allenamento su una cyclette in energia elettrica, con cui è possibile alimentare molti degli elettrodomestici posseduti nella maggior parte delle abitazioni.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 69**

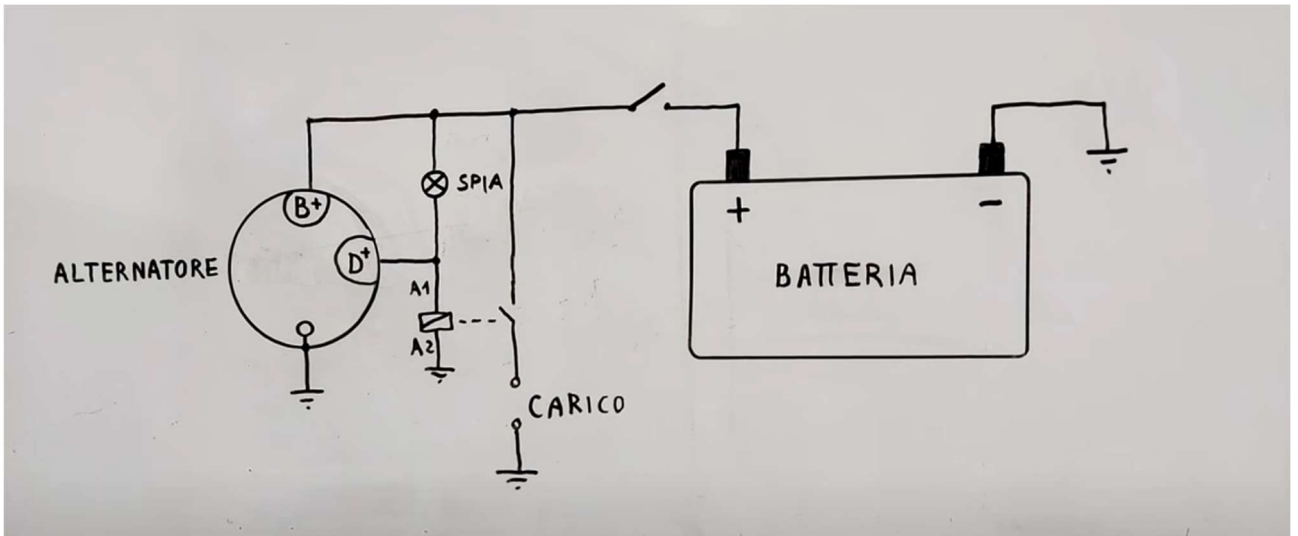
- **Funzionamento**

La soluzione adottata in questo particolare progetto richiede, per funzionare correttamente, che venga collegata una batteria al piombo all'alternatore, altrimenti durante l'allenamento non sarà possibile produrre energia elettrica. Infatti il principio di funzionamento è esattamente lo stesso che governa il sistema elettrico di un'automobile: lo sforzo esercitato dalle gambe (motore termico) viene convertito in elettricità dall'alternatore ed impiegato per caricare la batteria oppure per alimentare il carico che è stato collegato (luci, condizionatore, radio, ricaricare il cellulare o altro). Il prototipo che è stato costruito permette di ricaricare qualsiasi dispositivo che necessita di una alimentazione a 5 V o 12 V, in aggiunta, collegando un inverter, è anche possibile alimentare vari elettrodomestici a 220 V.

- **Dettagli Tecnici**

Il progetto è stato realizzato adoperando una vecchia cyclette, poi modificata per ospitare un vecchio alternatore d'automobile. La produzione della potenza avviene sfruttando la trasmissione del moto nativa del macchinario (pedali con pignone che grazie ad una cinghia azionano un volano), al quale è stata aggiunta una ruota di frizione, che collega il generatore al volano. Osservando il circuito si deduce che il carico viene alimentato solamente se l'alternatore viene azionato dai pedali e mai anche dalla batteria, la quale ha l'unica funzione di eccitare le spire del generatore e di immagazzinare l'elettricità in eccesso prodotta pedalando. Questa cyclette-generatore è dotata di due uscite a 5 V, per ricaricare uno smartphone o altri piccoli dispositivi, e due ulteriori collegamenti a 12 V, pensati per collegarci un inverter che trasforma la corrente continua fornita dal generatore in corrente alternata a 220 V. Inoltre è stato incluso un voltmetro digitale con il quale è possibile controllare la tensione residua presente sui morsetti della batteria.

○ **Particolari e Disegni**



**Figura 70**

### 5.4.5-Big-Rig

Un progetto di Andy Wekin e Steve Blood (Wekin, 2014).

- **Contesto**

Il "Big Rig" è progettato per applicazioni in luoghi isolati ed è particolarmente adatto per applicazioni agricole su piccola scala come la frantumazione dei cereali, la zangolatura del burro e il pompaggio dell'acqua.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 71**

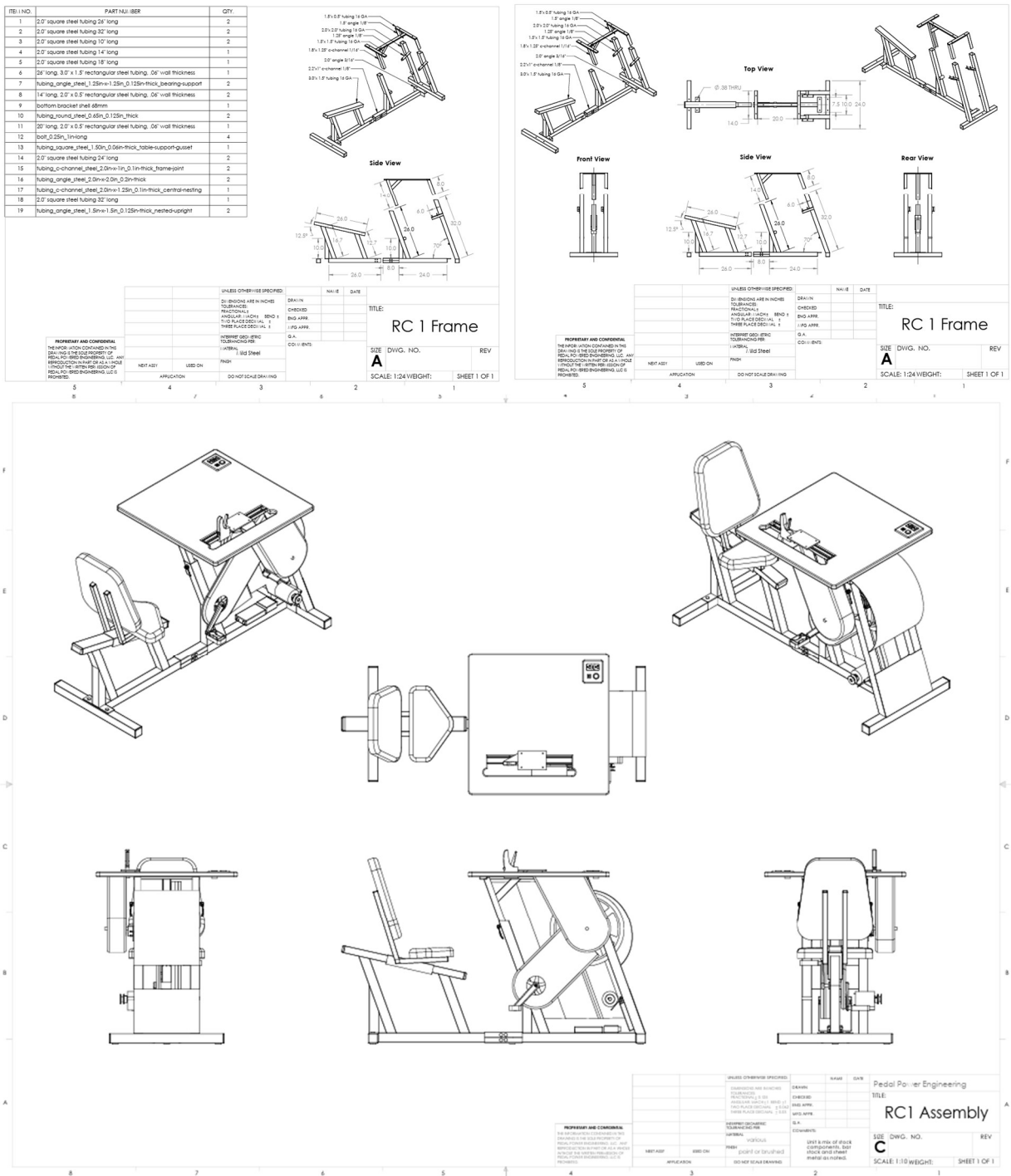
- **Funzionamento**

L'operatore, dopo aver preso posto sul sedile ed averlo regolato così da raggiungere la posizione ottimale desiderata, può immediatamente iniziare a pedalare per svolgere l'attività fisica. Ad esempio si può caricare il proprio laptop, o lo smartphone, e allo stesso tempo utilizzare il banco come una postazione di lavoro, oppure è anche possibile azionare una piccola pompa idraulica per delle portate modeste. Inoltre, collegando una cinghia ad un'apposita puleggia, è anche possibile azionare delle apparecchiature, esterne al macchinario, come ad esempio una piccola macina per cereali, un compressore d'aria, un'ulteriore pompa idraulica o una serie di piccoli attrezzi da negozio.

- **Dettagli Tecnici**

Il macchinario presenta un banco da lavoro, un sedile ergonomico e facilmente regolabile a seconda delle esigenze dell'operatore, un'ampia varietà di ingranaggi per regolare la trasmissione della potenza, un volano per una maggiore fluidità nella pedalata, una puleggia (calettata sullo stesso albero del volano) ed una pompa idraulica, il tutto sostenuto da un telaio completamente in acciaio e fatto a mano. Un adulto medio può impiegare questo macchinario per produrre 100 W di elettricità, per spostare circa 19 litri d'acqua oppure, grazie alla puleggia ed una cinghia, trasferire praticamente tutta la potenza che riesce a fornire ad una vasta gamma di dispositivi esterni.

○ **Particolari e Disegni**



**Figura 72**



### 5.4.6-Human Energy Converter (H.E.C.)

Un Progetto di Bart Orlando, Todd King e Mark Mueller (Lopez Jr., 2008).

- **Contesto**

Il macchinario venne impiegato per alimentare vari eventi (concerti, manifestazioni e festival) negli anni '90.

- **Immagine d'Insieme**

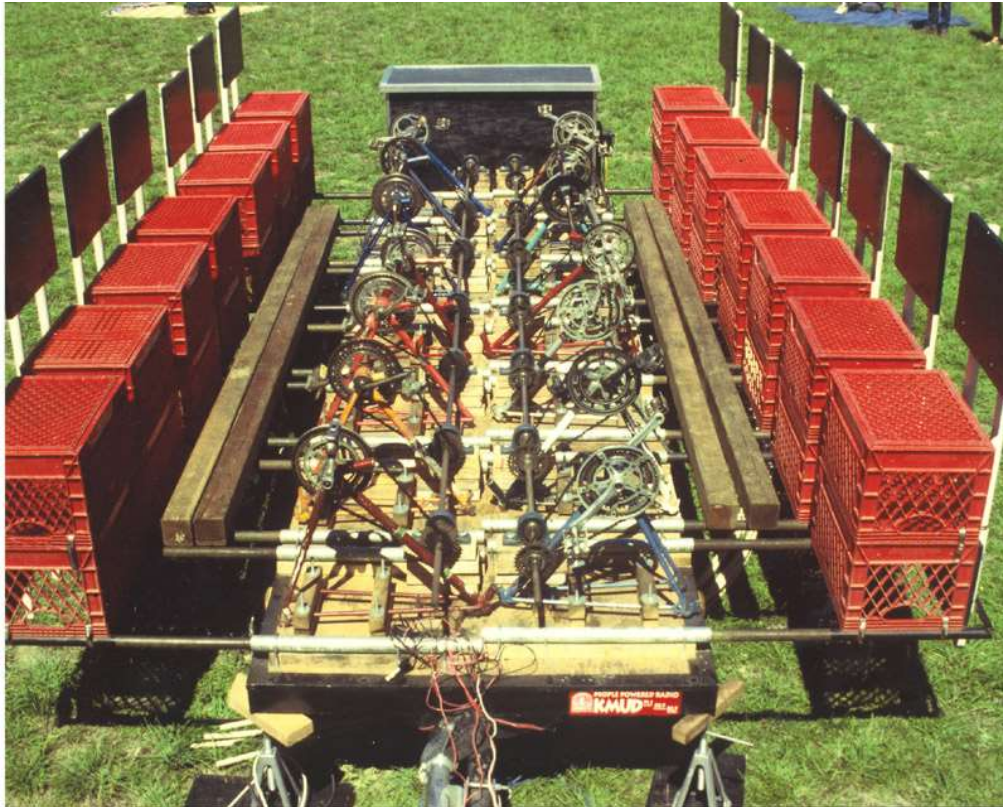


Figura 73

- **Funzionamento**

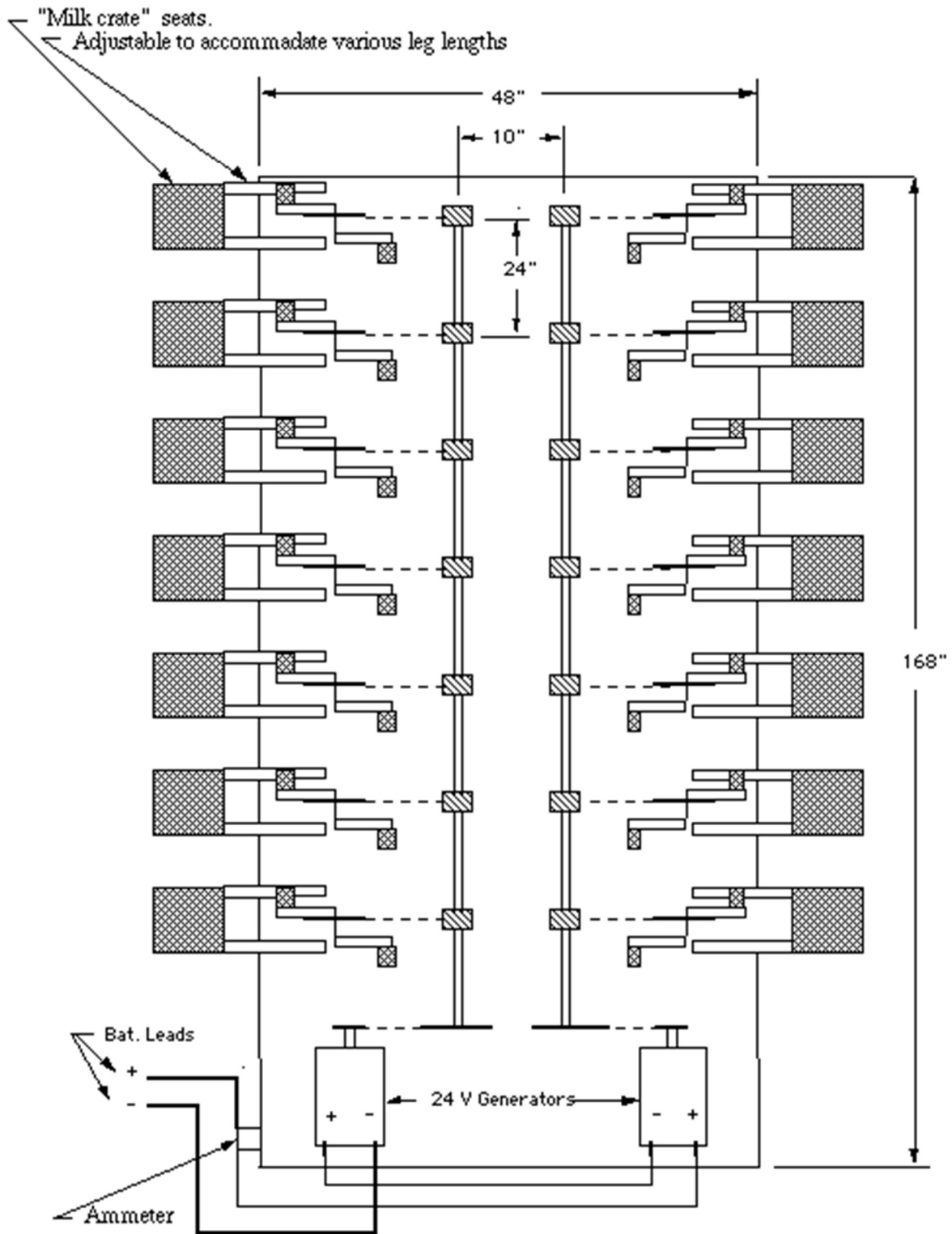
L'H.E.C. permette di convertire lo sforzo bio-meccanico di 14 persone di ogni età che pedalano in energia elettrica ed alimentare ad esempio gli strumenti musicali in un concerto, o altri eventi.

- **Dettagli Tecnici**

L'Human Energy Converter (H.E.C.) è un generatore elettrico che sfrutta lo sforzo di pedalata prodotto contemporaneamente da 14 persone, così da poter sostenere una potenza continuativa di circa 800 W, fino ad un massimo di 1 kW, a 24 V. I materiali adoperati per la costruzione sono stati tutti riciclati ed includono 14 strutture centrali di biciclette a 10 velocità, delle casse in plastica per il trasporto del latte, impiegate come sedili, due motori-generatori Scott 24 V, 1 hp, a magneti permanenti e corrente continua, due riduttori, con rapporto 8:1, e un inverter Dynamote Brutus 24 V, 3200 W, ad onda sinusoidale. Le biciclette sono state divise in due gruppi da 7 ed i pignoni delle ruote posteriori sono stati calettati su due alberi collegati ai riduttori, a loro volta in diretta comunicazione con i generatori e la corrente continua che essi producono viene inviata ad un inverter che poi alimenterà l'utenza esterna. I generatori vengono fatti ruotare a 900 giri al minuto perché possano funzionare correttamente, perciò i ciclisti dovranno pedalare ad una velocità più confortevole di circa 70 giri al minuto.

○ **Particolari e Disegni**

**H.E.C.**  
(Top view)



**Figura 74**

### 5.4.7-Original Power Box

Un progetto di K-Tor (K-Tor, 2011).

- **Contesto**

Questo generatore elettrico a pedali è molto utile in situazioni di emergenza, dove è precluso l'accesso ad una rete elettrica, per alimentare un'ampia varietà di dispositivi elettronici.

- **Immagine d'Insieme**



Figura 75

- **Funzionamento**

L'Original Power Box permette di generare energia elettrica pedalando, con le braccia o con i piedi (soluzione preferibile e consigliata). Per il corretto utilizzo è sufficiente fissare adeguatamente la base del dispositivo ad una superficie ed è immediatamente possibile produrre elettricità semplicemente facendo ruotare i pedali.

- **Dettagli Tecnici**

Questo generatore è in grado di produrre fino a 20 W di potenza a 120 V in corrente continua (DC), con un'efficienza del 85%. Il progetto prevede una struttura pieghevole che consente di ridurre l'ingombro, circa 12 x 5.5 x 3.5 pollici ed un peso di circa 2 kg, quando si ripone lo strumento dopo l'utilizzo. Affinché il generatore funzioni è necessario che l'operatore faccia ruotare i pedali 1,5 volte al secondo e che l'apparecchio sia fermato ad una superficie di supporto, a tale scopo la base è stata fornita di quattro fori per viti.

o Particolari e Disegni

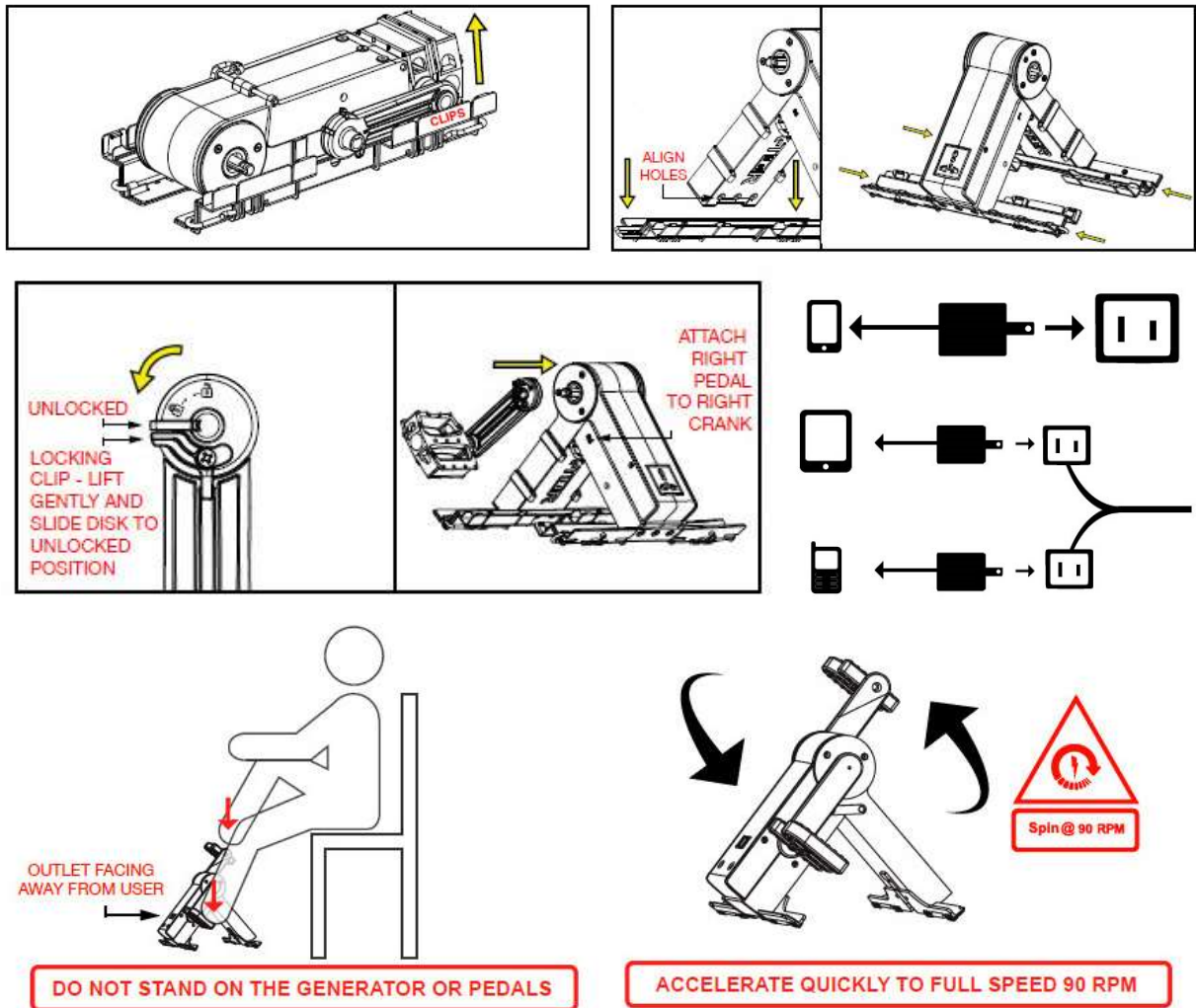


Figura 76

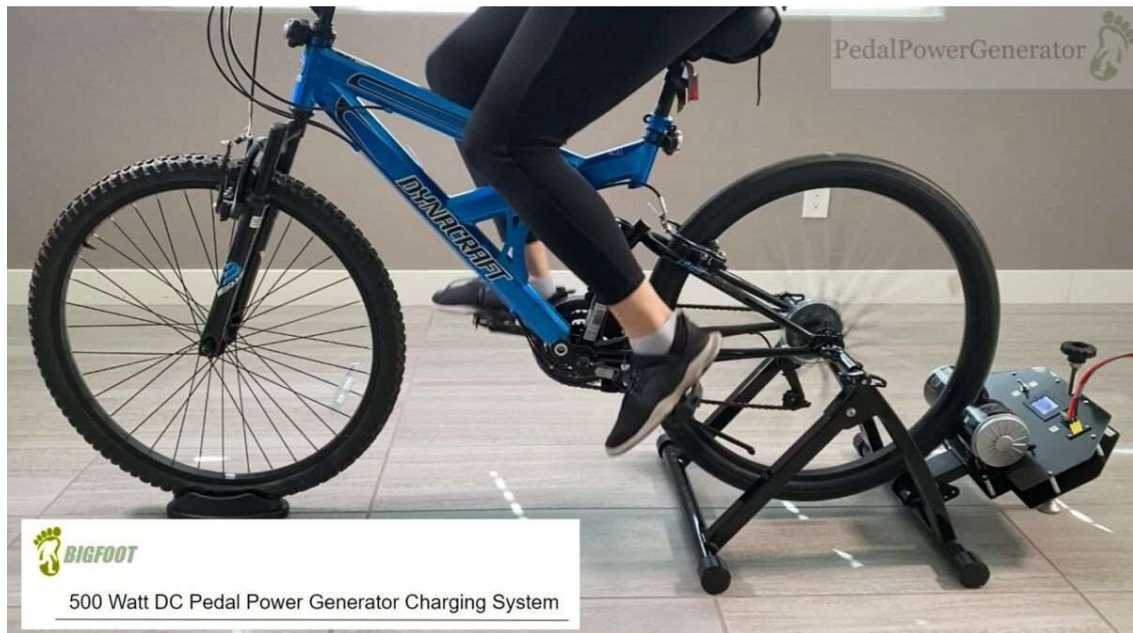
### 5.4.8-Bigfoot 500 Watt Dual Generator Roller System (PPG-R500-AC200)

Un progetto di PedalPowerGenerator (PedalPowerGenerator, 2017).

- **Contesto**

Questo generatore elettrico a pedali consente di trasformare in energia elettrica la potenza che normalmente viene dissipata durante un classico allenamento in bicicletta. Perfetto per scopi didattici o per la ricarica di varie tipologie di batterie esterne.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 77**

- **Funzionamento**

Il Bigfoot 500 viene montato su un generico supporto da allenamento per bicicletta al posto del rullo resistente. L'attrito tra la ruota posteriore della propria bici e il ruotino calettato sull'albero che unisce due generatori è l'aspetto cruciale del sistema, è ciò che permette il trasferimento della potenza meccanica prodotta dal ciclista, pedalando, in energia elettrica pronta all'uso. Grazie alle accurate scelte progettuali adottate in fase di progetto, il dispositivo può essere trasportato molto facilmente dovunque si preferisce, rendendolo una delle soluzioni di generatore elettrico a pedali più interessanti.

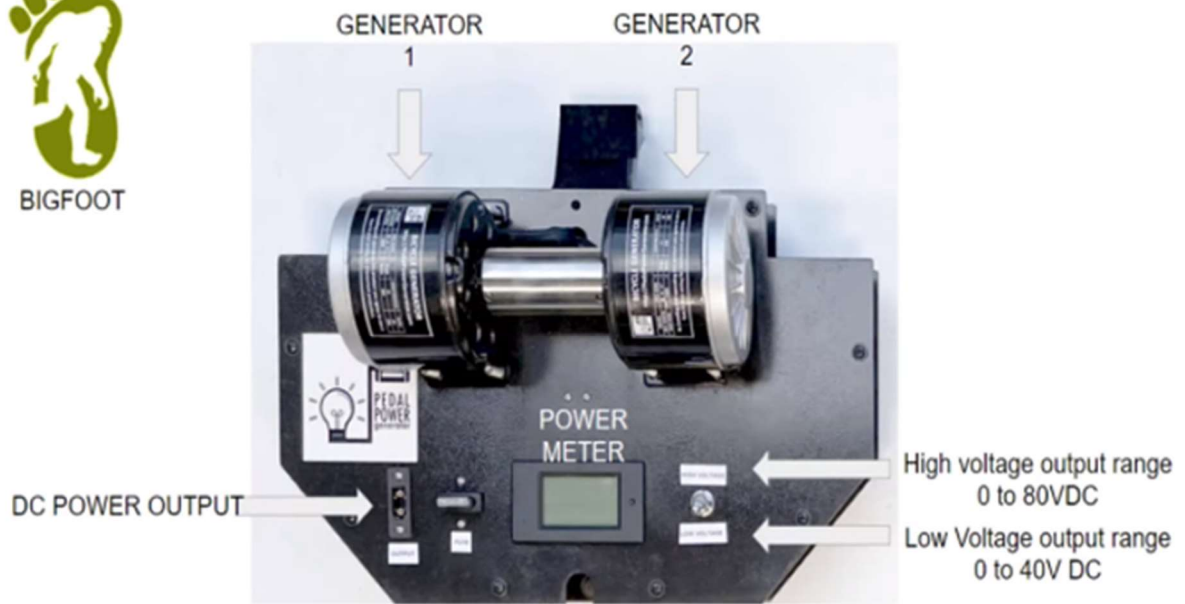
- **Dettagli Tecnici**

Il dispositivo non comprende, di fatto, la bicicletta, dovrà essere premura dell'operatore procurarsene una o averla già in suo possesso. Il Bigfoot 500 pertanto consiste di due generatori (corrente continua) collegati tra loro mediante un rullo metallico, una struttura che ospita il cablaggio elettrico, un misuratore di potenza, che mostra la tensione, la corrente e la potenza erogata, e il supporto per il regolatore dell'altezza, con il quale si può far variare l'intensità del contatto tra la ruota posteriore della bici e il rullo dei generatori. Il dispositivo propone due possibili configurazioni di impiego: una ad alto voltaggio, più efficiente del 10-20%, e l'altra a basso voltaggio, tensione minore, ma eroga una corrente maggiore. Complessivamente il generatore presenta un'efficienza totale del 25%, a causa dell'inefficienza meccanica dell'intero apparato.

○ **Particolari e Disegni**



2 SEPARATE HIGH POWER DC GENERATORS COMBINED TOGETHER



**Figura 78**

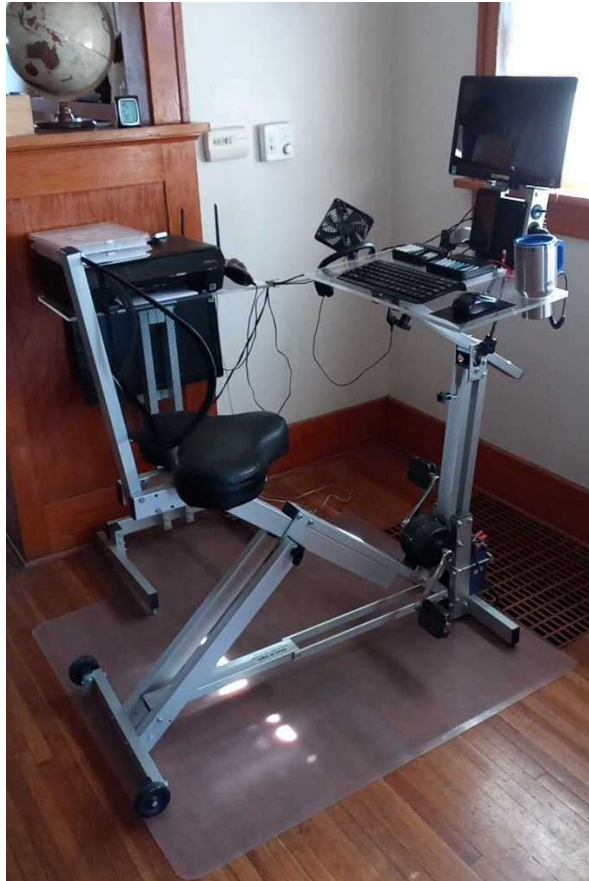
## 5.4.9-PedalPC

Un progetto di Jim Gregory (Gregory, 2019).

- **Contesto**

Il PedalPC è un postazione d'ufficio a pedali che permette di produrre energia elettrica da utilizzare per lavorare, mentre si svolge della discreta attività fisica a casa propria.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 79**

- **Funzionamento**

La scrivania da uffici a pedali permette di essere regolata sulle esigenze ergonomiche dell'utente: la distanza del sedile dai pedali e l'altezza del banco sono modificabili, per poter così garantire la migliore comodità possibile durante l'esercizio fisico e il lavoro. Per produrre l'elettricità necessaria ad alimentare la postazione di lavoro basterà prendere posto sul sedile ed iniziare a pedalare. Il PedalPC è stato ideato anche nell'ottica della trasportabilità, infatti è possibile ripiegare su sé stessa l'intera struttura, garantendo un minore ingombro e una trasportabilità più funzionale.

- **Dettagli Tecnici**

I componenti principali che costituiscono il PedalPC sono il telaio della scrivania in alluminio anodizzato, il generatore (magneti permanenti, 36 V, 250 W), la batteria (LiFePO<sub>4</sub>, 12 V), il pannello di controllo, le prese di corrente (quattro a 12 V e otto USB a 5 V) e il Single-Board Computer. Pedalando si aziona direttamente il generatore, che produrrà energia elettrica, mentre la batteria stabilizza la potenza prodotta, ma può anche immagazzinare gli eccessi. Il pannello di controllo serve a monitorare la produzione ed il consumo di elettricità, il piccolo computer invece crea una

dashboard, visualizzabile con il proprio web browser, sulla quale vengono visualizzate tutte le funzionalità dell'apparecchiatura (consumi, carica delle batterie, dispositivi collegati ed altre informazioni). Le specifiche di progetto affermano che le dodici uscite di cui è provvisto l'apparecchio sono in grado di alimentare contemporaneamente un laptop o un piccolo computer desktop, un monitor, una stampante, un modem/router, una ventola da tavolo, un piccolo web server, un cellulare o un tablet, delle batterie AA/AAA, delle luci a led a batteria e altri piccoli dispositivi a batteria.

o **Particolari e Disegni**

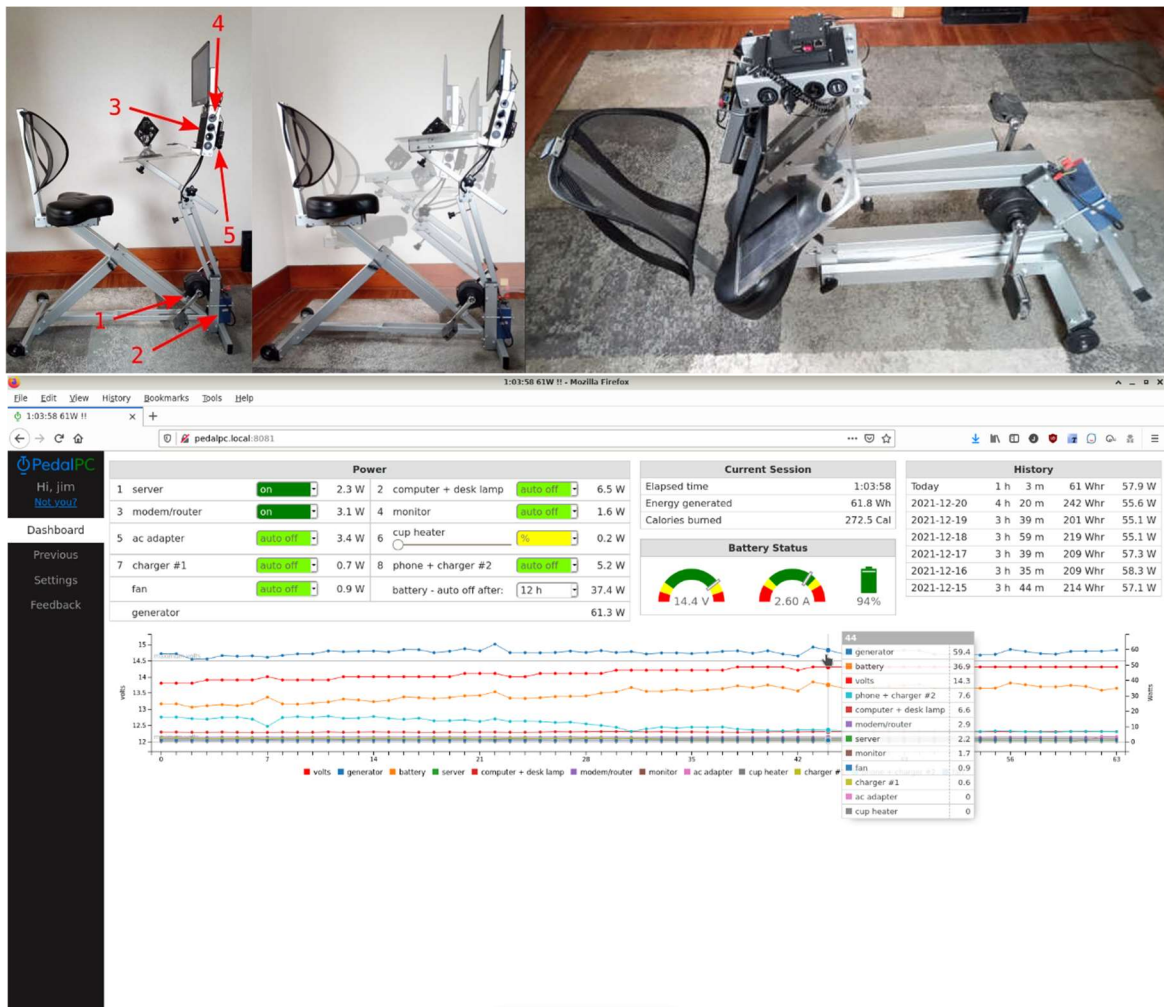


Figura 80



## 5.4.10-Hans Free Electric

Un progetto di Manoj Bhargava (La Franca, 2017).

- **Contesto**

Il progetto è nato con l'obiettivo di garantire energia elettrica per tutte le persone che vivono in zone rurali, sprovviste di un accesso alla rete elettrica, oppure in condizioni di gravi ristrettezze economiche.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 81**

- **Funzionamento**

La produzione di elettricità viene garantita dal moto rotatorio sviluppato, dall'operatore che prende posto sul sedile del macchinario, azionando i pedali. Le dimensioni contenute permettono di trasportare facilmente l'intera apparecchiatura, mentre la semplicità di funzionamento consente a chiunque di adoperarla.

- **Dettagli Tecnici**

Il meccanismo che trasforma l'energia muscolare in elettricità è molto semplice e consiste di un sistema di pedali collegati ad una corona che, mediante una catena, mettono in moto un volano. Quest'ultimo poi aziona il generatore brushless a magneti permanenti e l'energia da esso prodotta verrà immagazzinata all'interno di un batteria agli ioni di litio trasportabile (Hans Powerpack). L'ideatore Manoj Bhargava afferma che il dispositivo sarebbe in grado di generare una potenza sufficiente da poter soddisfare il fabbisogno energetico di un'abitazione rurale media in India, pedalando solamente un'ora.

## ○ Particolari e Disegni

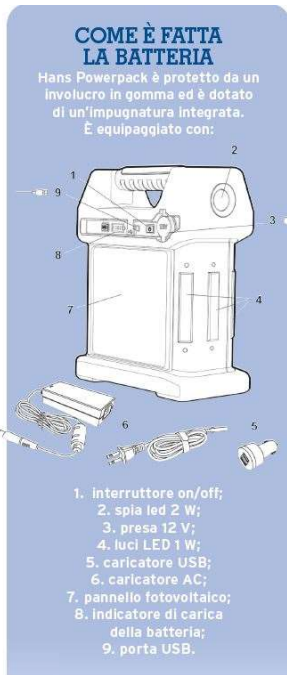


Figura 82

### 5.4.11-Volta

Un progetto di Matthew Cheung, Jessica Chiu, Julia Solano e Nick Firmani (Wolfe, 2015).

- **Contesto**

L'obiettivo di questo progetto consiste nella realizzazione di una "sedia intelligente", capace di migliorare alcuni aspetti della seduta grazie ad alcune modifiche meccaniche, elettroniche e software, in modo da garantire dell'attività motoria e così migliorare le condizioni di salute gravate da abitudini troppo sedentarie.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 83**

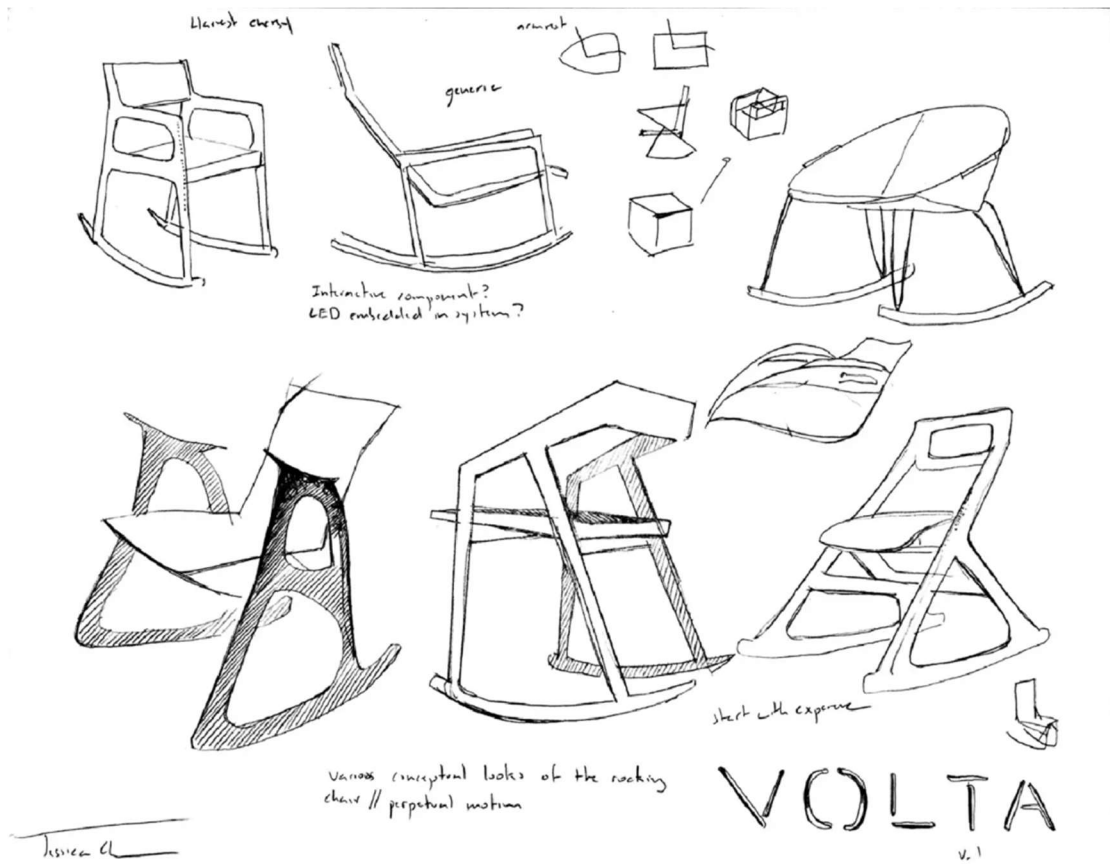
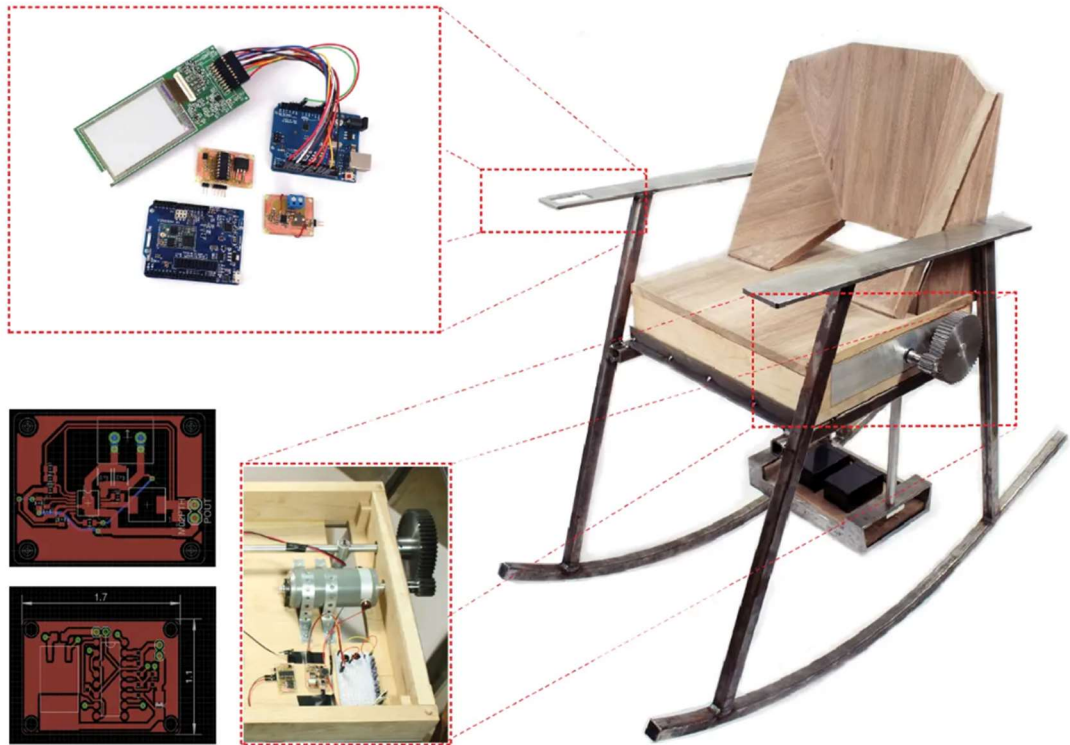
- **Funzionamento**

Questo dispositivo è di fatto una comune sedia a dondolo che però permette a chiunque la utilizzi di beneficiare delle tipiche proprietà di ristoro che questi modelli sono in grado di offrire e al tempo stesso caricare il proprio smartphone, o un qualsiasi altro piccolo apparecchio elettronico.

- **Dettagli Tecnici**

La persona che inizia a dondolarsi su questa sedia causerà il moto oscillatorio di un pendolo collocato sotto il sedile; quest'ultimo poi metterà in rotazione gli ingranaggi di un generatore elettrico, che a sua volta alimenterà delle batterie ad esso collegate. Le batterie a loro volta sono connesse tramite circuiti a una scheda FireStorm, ossia un microcontrollore dai consumi abbastanza contenuti che viene utilizzato per alimentare tutta l'elettronica della sedia. La Volta è inoltre dotata di Bluetooth Low Energy (BLE), che combinato con una semplice presa USB, consente all'utente di ricaricare il proprio dispositivo mobile. Il team che ha realizzato la sedia afferma che essa possa caricare i dispositivi collegati con la stessa efficienza di una generica presa domestica. Tuttavia l'aggiunta di un pendolo e di un pacco batteria a una sedia ha portato il suo peso complessivo a circa 36 kg, che la rende piuttosto pedante ed ingombrante da spostare.

○ **Particolari e Disegni**



**Figura 84**

## 5.4.12-GEN-ERG-ATOR

Un progetto di Gene di Green Machine (Gene'sG, 2021).

- **Contesto**

Il GEN-ERG-ATOR è un vogatore fai-da-te che consente di produrre energia elettrica durante le consuete sessioni di allenamento, che possono così essere svolte al proprio domicilio.

- **Immagine d'Insieme**



**Figura 85**

- **Funzionamento**

La produzione di energia elettrica viene garantita semplicemente svolgendo lo stesso tipo di allenamento fisico che si esegue con un comune vogatore da palestra. Dopo aver preso posizione sul sedile ed aver posizionato i piedi sugli appositi supporti, si dovrà semplicemente afferrare il manubrio con entrambe le mani ed iniziare a tirare verso di sé con le braccia e spingendo anche con le gambe, così da massimizzare la potenza muscolare che può poi essere convertita in elettricità; raggiunta la corsa massima del carrello (sul quale è stato posizionato il sedile) allora si deve rilassare la muscolatura e tornare alla posizione di partenza, per ripetere nuovamente l'intero ciclo.

- **Dettagli Tecnici**

La generazione di corrente avviene soltanto nella prima fase del ciclo di esercizio, quando cioè si tira il manubrio, mentre durante il rilascio il motore non viene attivato. L'apparato di produzione dell'energia è ad ogni modo composto principalmente da un grosso volano, un motore di una bicicletta elettrica e un super-condensatore. L'azionamento del motore-generatore avviene sfruttando due catene, precedentemente aperte e giuntate tra loro, che ruotano attorno ad una ruota libera dentata ad esso collegata, proprio per evitare che venga fatto ruotare nel verso opposto. Alle due estremità della catena sono stati in seguito collegati rispettivamente il manubrio ed una fascia per gli esercizi, la cui tensione elastica immagazzinata durante la prima fase di sforzo del ciclo, favorisce poi la corsa di ritorno alla posizione iniziale. Invece il circuito elettrico è

composto da un raddrizzatore a diodi (per trasformare la corrente alternata sviluppata dal generatore in corrente continua), un misuratore di potenza (per controllare la tensione e la corrente), un super-condensatore (essenziale durante la corsa di ritorno per conservare “costante” il flusso di elettricità) ed un convertitore DC-DC (per abbassare la tensione da 18-35 V a 12 V). Infine il telaio è stato realizzato completamente in legno.

o **Particolari e Disegni**

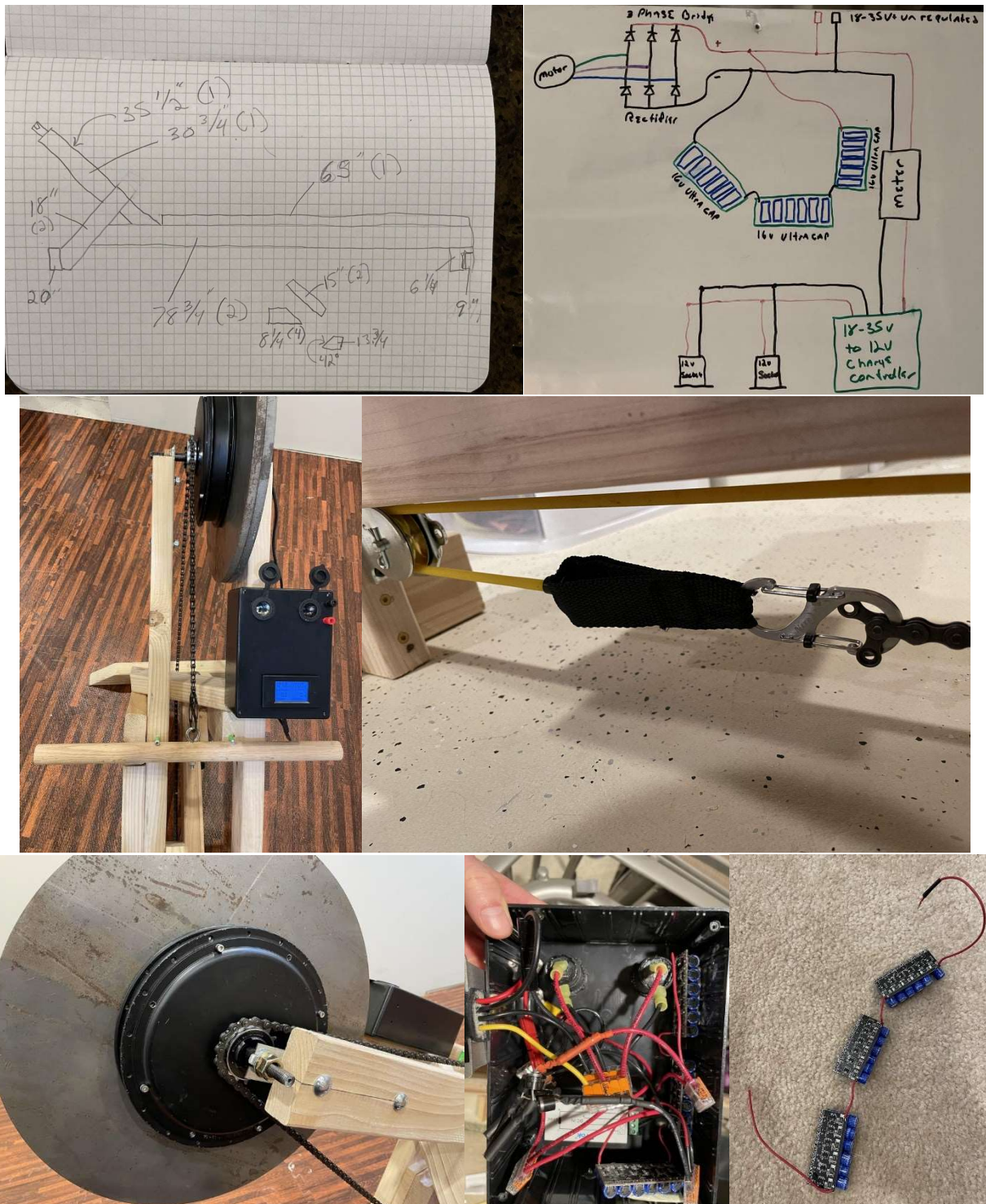


Figura 86

### 5.4.13-Electricity Generating Playground Equipment

Un progetto di Ben Stephen Markham (Markham, 2008).

- **Contesto**

Questa giostra carosello è uno strumento ideato per le attività di ricreazione dei bambini, ma anche per produrre ed immagazzinare energia elettrica e alimentare di conseguenza le luci delle scuole e delle case limitrofe che non hanno accesso ad una rete elettrica.

- **Immagine d'Insieme**

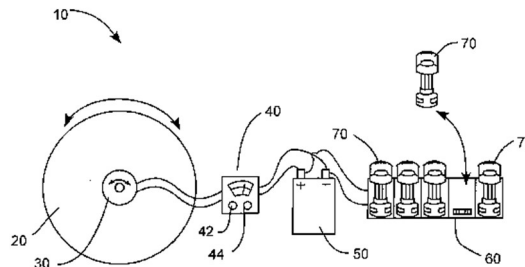


FIG. 1

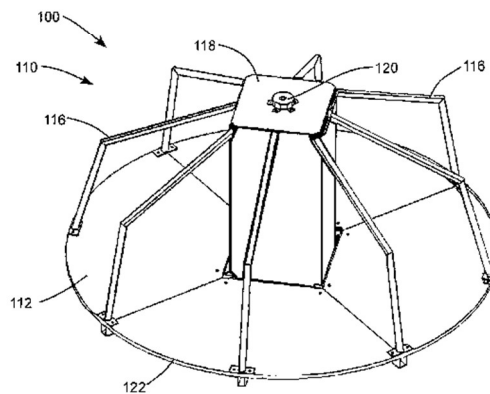


FIG. 2

**Figura 87**

- **Funzionamento**

L'azionamento di questo dispositivo è molto semplice ed intuitivo, poiché è di fatto equivalente a quello di una comune giostra carosello che si può trovare nelle aree gioco per bambini. Infatti è sufficiente porre in rotazione il supporto circolare, spingendolo o tirandolo, per produrre immediatamente l'energia elettrica desiderata.

- **Dettagli Tecnici**

Questa giostra è dotata di una base cilindrica mobile, collegata ad un generatore, di un controllore del duty-cycle e una batteria. Il generatore elettrico può essere un modello a magneti permanenti oppure un alternatore, mentre la trasmissione che permette di trasferire il moto di rotazione avviene mediante un sistema ad albero con doppio cuscinetto collegato ad un moltiplicatore, con ingranaggi elicoidali, per aumentare la velocità che riceve all'ingresso (con un rapporto di trasmissione di 30:1). Il controllore del duty-cycle è provvisto di un regolatore di tensione ed un modulatore di ampiezza dell'impulso, grazie ai quali viene regolata la potenza elettrica prodotta dal generatore. Invece per quanto riguarda la batteria da collegare al dispositivo si può adoperare un modello qualsiasi, a patto che sia ricaricabile.

○ **Particolari e Disegni**

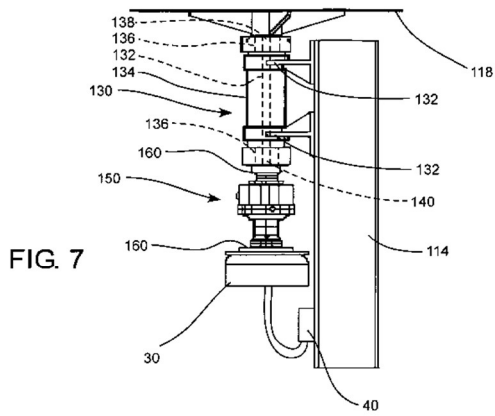


FIG. 7

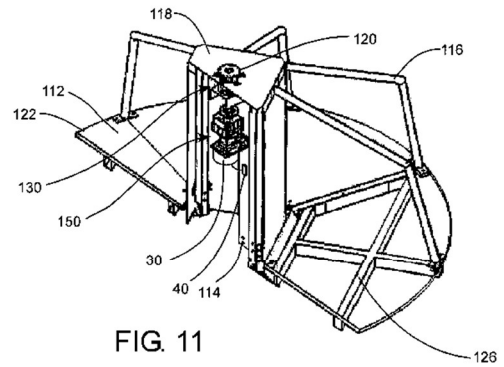


FIG. 11

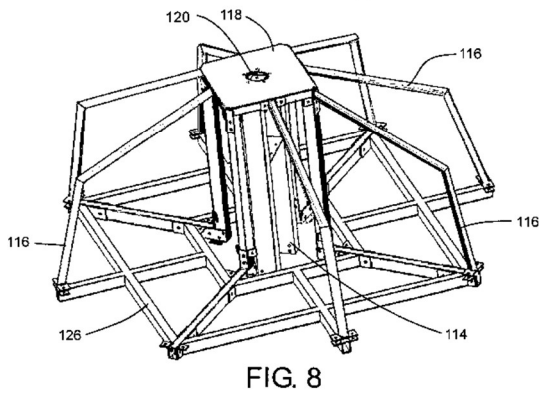


FIG. 8

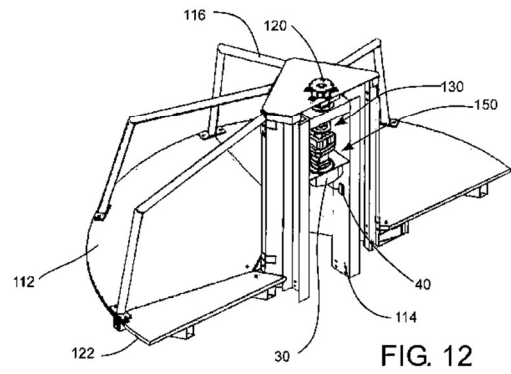


FIG. 12

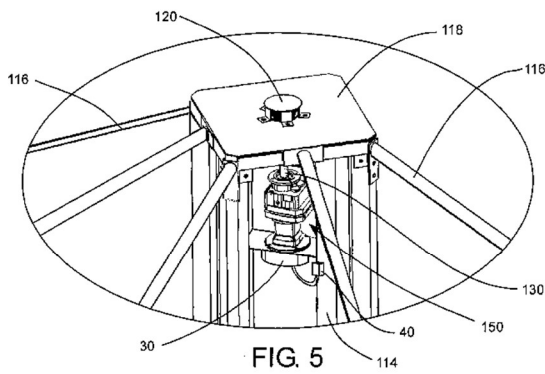


FIG. 5

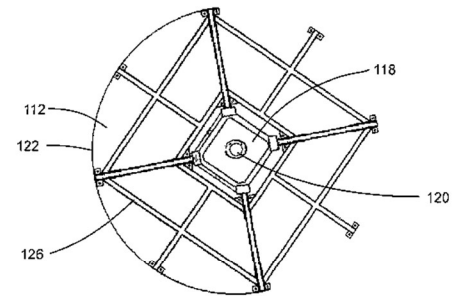


FIG. 9

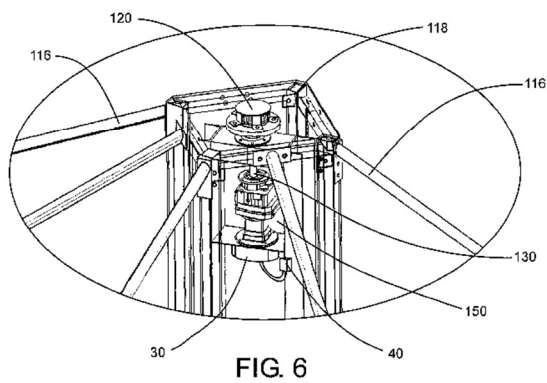


FIG. 6

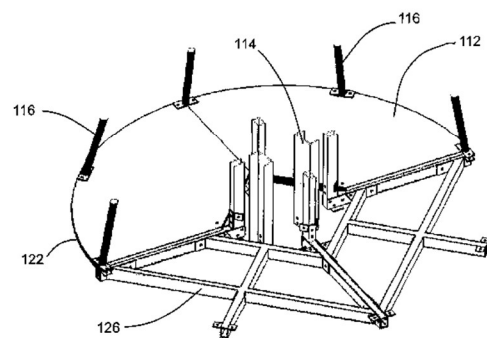


FIG. 10

**Figura 88**



### 5.4.14-Seesaw Power Generator

Un progetto di William Varsh e Jeffrey Healy (Varsh, 2012).

- **Contesto**

Questa altalena a dondolo è stata ideata con l'intento di trasformare in elettricità l'energia dei bambini durante le attività ricreative nei parchi gioco.

- **Immagine d'Insieme**



Figura 89

- **Funzionamento**

La produzione di elettricità viene effettuata grazie all'intervento di due operatori che si dovranno posizionare alle due estremità della tavola a dondolo. Proprio a causa delle dimensioni del dispositivo (96,52 cm di altezza, mentre la lunghezza dell'asse è 160,02 cm) non è possibile azionarlo come una comune altalena a dondolo, vale a dire con le gambe, sedendosi semplicemente sopra la tavola. Perciò a turno ognuno dovrà spingere verso il basso con le braccia il manubrio che ha di fronte: il moto oscillatorio così prodotto viene trasmesso ad un generatore che convertirà l'energia muscolare in potenza elettrica.

- **Dettagli Tecnici**

Le parti che costituiscono l'altalena Seesaw sono il meccanismo a dondolo, un motore a magneti permanenti e in corrente continua, un rettificatore a ponte di diodi, una batteria, un convertitore DC-DC e un telaio di supporto realizzato completamente in legno. Il sistema è stato ideato affinché l'energia prodotta venga immediatamente fornita al carico esterno, mentre soltanto l'eccesso venga raccolto nella batteria interna al macchinario. La trasmissione del moto viene effettuata con tre tiri di catena: il primo è caratterizzato da una corona d'ingresso che misura 52 denti mentre quella d'uscita 12, il secondo ne presenta una corona da 48 e quella di uscita da 12 denti, la terza corona da 53 e la quarta da 8 denti. Il rapporto di trasmissione che viene quindi sviluppato è stato specificatamente ideato in modo tale che il generatore possa garantire un voltaggio in uscita superiore ai 15,8 V durante l'esercizio. Il rettificatore ha l'obiettivo di limitare le correnti che superano i 35 A e al tempo stesso, grazie ad un diodo, di impedire che fluiscano dalla batteria verso il generatore; questo componente tuttavia provoca una caduta di potenziale di 1,4 V, che deve

essere tenuto in conto. A completare il sistema è stata inserita una batteria d'auto e un convertitore DC-DC che riceve 12 V e ne consegna 24 V, con una potenza massima di 120 W.

o **Particolari e Disegni**

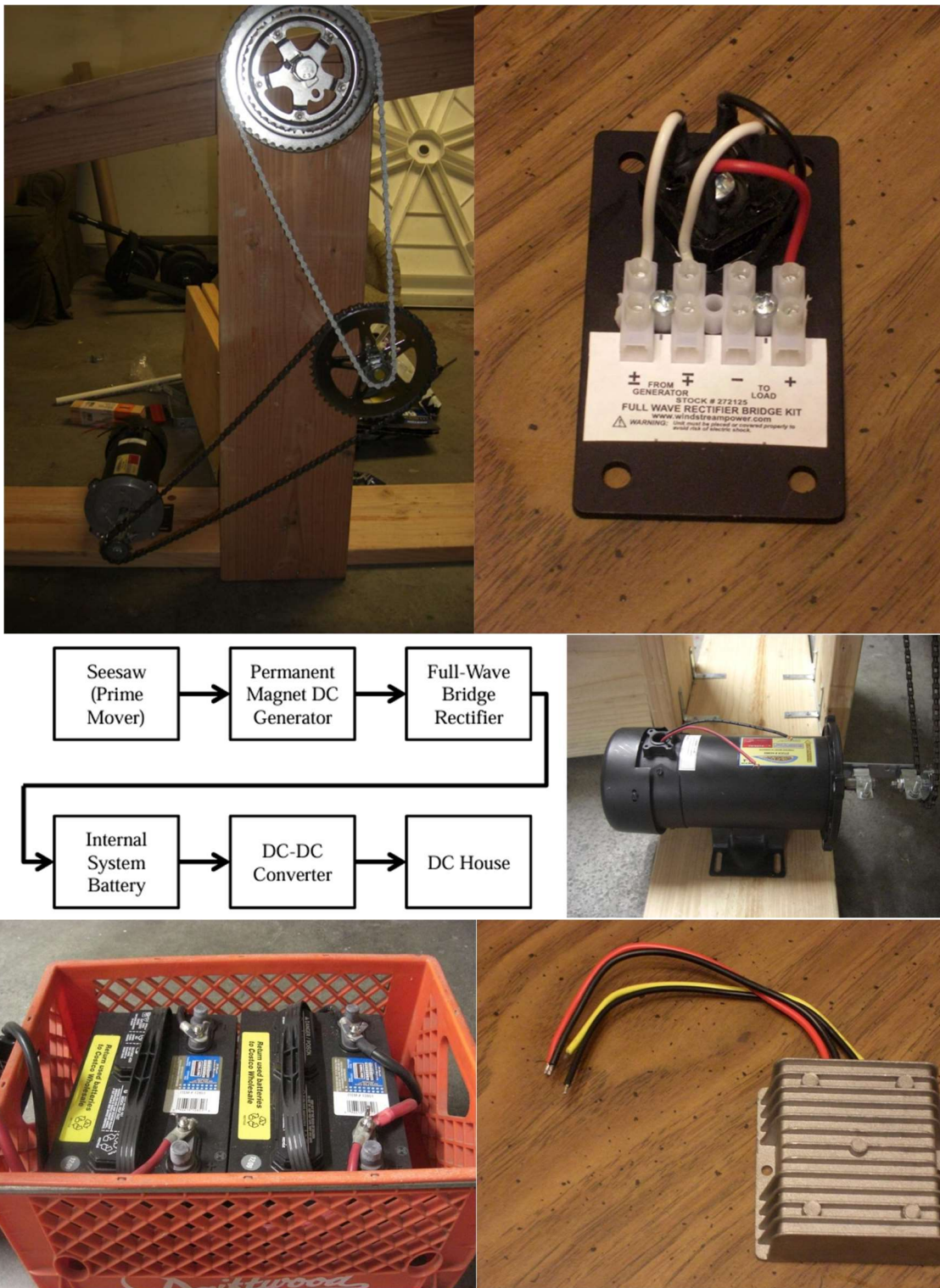


Figura 90

### 5.4.15-Generatore di corrente fai da te

Un progetto di Redazione Bricoportale (Bricoportale, 2020).

- **Contesto**

L'utilizzo del sistema di trasmissione meccanico di una vecchia macchina da cucire a pedale Singer ha dato vita a questo generatore elettrico fai-da-te consente di produrre energia elettrica con il minimo sforzo per alimentare cellulari, tablet, batterie ed altro ancora, lasciando però in contemporanea libere le mani, per poter volgere un altro lavoro.

- **Immagine d'Insieme**



Figura 91

- **Funzionamento**

Il funzionamento di questo dispositivo è molto semplice e richiede lo stesso movimento del piede necessario per azionare la precedente macchina da cucire, i cui componenti sono stati appunto adoperati per costruire il sistema di generazione meccanico-elettrico. Infatti è sufficiente posizionare una comoda sedia di fronte all'apparecchiatura e una volta preso posto su di essa è immediatamente possibile sviluppare una potenza elettrica muovendo il pedale, con una sola gamba. Il moto oscillatorio del pedale viene poi trasmesso (mediante un manovellismo) ad una puleggia, collegata a sua volta con una cinghia direttamente al generatore elettrico.

- **Dettagli Tecnici**

La struttura che sorregge l'intero macchinario è composta da due robuste tavole di legno saldamente unite tra loro, formando un angolo di 90°. L'adattamento del sistema che pone in rotazione l'albero dell'alternatore ha richiesto alcune specifiche modifiche: è necessario un supporto flangiato per un cuscinetto a sfera e un blocco di legno per portarlo sullo stesso asse di lavoro dell'alternatore. In questo modo viene concessa la libera rotazione dell'albero giuntato ad un'estremità all'alternatore e all'altra ad una piccola puleggia collegata con una comune corda da stendere alla più grande puleggia del meccanismo di azionamento a pedale. L'alternatore adoperato per questo progetto consiste di una pompa elettrica di una lavatrice che veniva alimentata con una tensione di 230 V e assorbiva tra 40 e i 60 W. Il circuito elettrico che preleva

l'energia elettrica prodotta dal generatore per fornirla al carico esterno è costituito da una presa elettrica che garantisce una tensione di 130 V in corrente alternata, un alimentatore che converte i 100-240 V (corrente alternata) in ingresso in 12 V (corrente continua) per l'uscita, un adattatore step-up (o convertitore DC-DC) che permette la corretta ricarica di una batteria da 12 V. Inoltre è anche presente un'ulteriore uscita a 12 V, collegata con un mammut ad un voltmetro che mostra la tensione erogata.

○ **Particolari e Disegni**

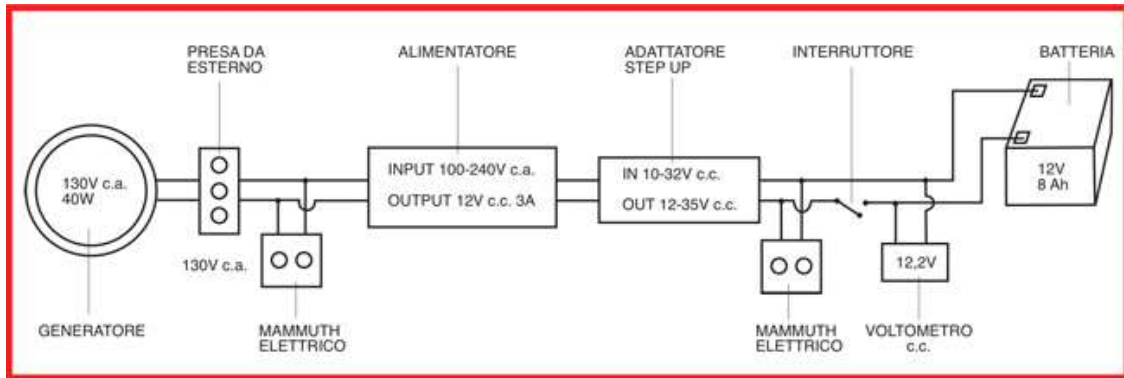
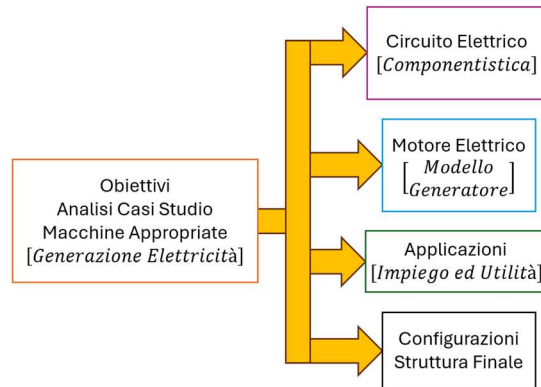


Figura 92

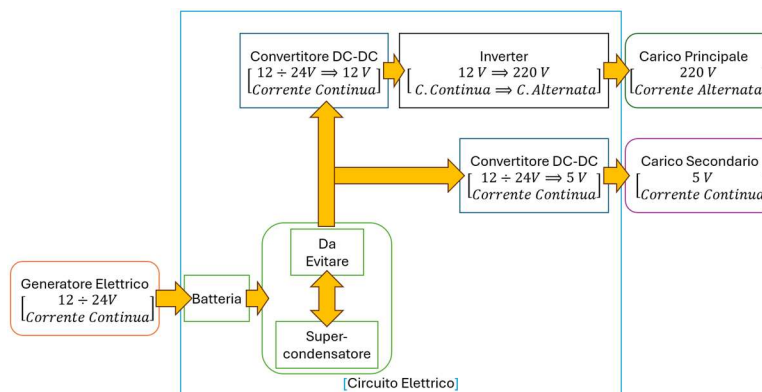
### 5.4.16-Informazioni Conclusive

Le informazioni indispensabili che occorre ricavare dall'indagine dei nuovi casi studio selezionati (quindici esempi di generatori elettrici ad azionamento muscolare) vertono soprattutto attorno al circuito elettrico, al motore elettrico adottato, agli impieghi che sono in grado di offrire e alla configurazione complessiva della struttura di sostegno (figura 93).



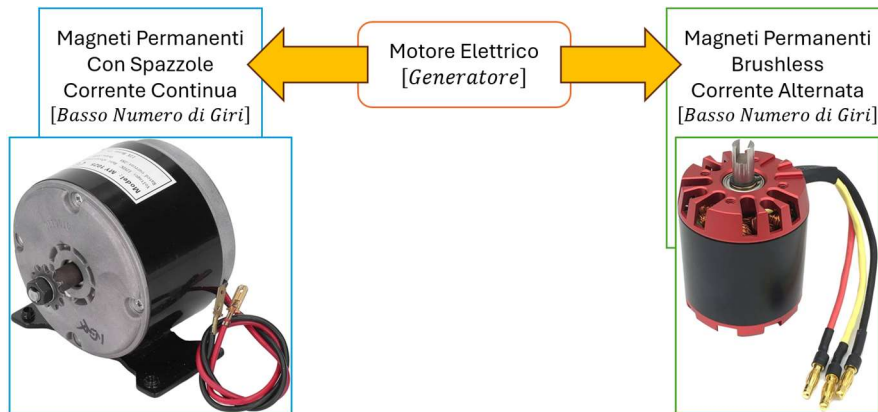
**Figura 93-Obiettivi dell'analisi dei casi studio**

Questi dispositivi sono in grado di produrre energia elettrica soltanto a basse tensioni e in corrente continua ed oggi ci  che ha bisogno di energia elettrica per funzionare esige solitamente una tensione di 5V, in corrente continua, oppure di 110/220 V, in corrente alternata. Ora il generatore elettrico sviluppa tipicamente una potenza con una differenza di potenziale tra i 12 V e i 24 V, quindi   necessario un convertitore DC-DC, sia che si voglia alimentare delle prese a 5 V (CC) oppure a 110/220 V (CA); nella seconda condizione poi occorre aggiungere anche un inverter che trasformi la corrente da continua ad alternata. Per quanto riguarda la batteria invece il discorso   un po' pi  complicato, poich , come   gi  stato accertato, a seconda del tipo di utenza che si vuole alimentare la sua utilit  cambia. Se l'intento   di ricaricare principalmente apparecchiature dotate di una batteria interna, allora non serve assolutamente prevederne un'altra all'interno del sistema, mentre se si desidera rifornire degli strumenti che ne sono sprovvisti, come la maggioranza degli elettrodomestici, in tal caso per evitare situazioni spiacevoli   consigliabile inserire una. Le soluzioni osservate ci hanno insegnato che malgrado fosse necessario prevedere la presenza di un apparato di accumulo dell'energia elettrica   comunque preferibile servirsi di un super-condensatore, e solo se strettamente indispensabile, evitando completamente qualsiasi tipologia di batteria. Se viceversa si rimuove la batteria e la si sposta sul carico esterno, vale a dire che la si considera come un dispositivo qualsiasi estraneo al sistema che deve essere semplicemente ricaricato, allora sarebbe possibile trascurare le sue scarse prestazioni, poich  di fatto non inficerebbero pi  sull'efficienza complessiva del macchinario. Nella figura 94 viene illustrato uno schema riassuntivo dei componenti essenziali per costituire il circuito elettrico.



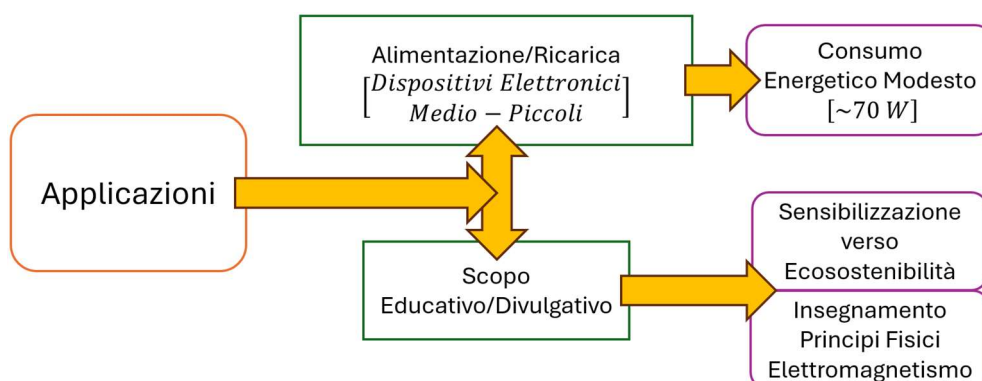
**Figura 94-Schema della componentistica principale del circuito elettrico**

Dall'analisi è poi emerso che i motori elettrici a magneti permanenti senza spazzole, o brushless, in realtà possono essere adoperati in modo efficace esattamente come quelli che invece le possiedono (figura 95). Infatti oggi esistono sul mercato dei modelli, di entrambi i tipi di motore, economicamente accessibili e che non richiedono dei numeri di giri eccessivamente elevati per funzionare pure come generatori.



**Figura 95-Motori elettrici utilizzabili come generatori**

Esaminando i casi studio è apparso che questa tipologia di apparecchiature non permettono un'ampia varietà di applicazioni: consentono di svolgere dell'esercizio fisico e allo stesso tempo di produrre energia elettrica, ma non molto altro (figura 96). Di fatto non permettono di eseguire molti lavori contemporaneamente al pedalare, oltre al massimo all'utilizzo di un PC o uno smartphone. Inoltre molte delle soluzioni prevedono l'uso di una bicicletta come postazione di generazione di elettricità, pertanto l'operatore si trova in una condizione piuttosto scomoda se volesse effettuare altre attività al di fuori del semplice allenamento. Non bisogna poi dimenticare che questa tipologia di macchinari sono contraddistinti da prestazioni abbastanza basse, sprecando buona parte della potenza investita dall'operatore: nel caso venissero assorbiti 100 W, nel migliore dei casi sarebbe possibile estrarne solamente 70 W, mentre nel peggiore addirittura meno di 30 W; di conseguenza gli apparecchi che possono essere alimentati in questo modo non sono molti. Per questa ragione le soluzioni più ricorrenti prevedono la ricarica di batterie, laptop, smartphone ed alcuni elettrodomestici, eppure questi dispositivi si prestano molto bene per attività con scopi didattici. Infatti molte delle iniziative che organizzano nel mondo eventi con l'intento di promuovere il tema della sostenibilità e dell'energia rinnovabile spesso adottano proprio dei generatori elettrici a pedali per veicolare meglio il messaggio, poiché sono particolarmente idonei nel mostrare quanto una persona sia in grado di produrre in termini energetici e quindi il potenziale energetico custodito nei muscoli. Non solo, però, sono anche eccellenti per insegnare i principi e le leggi fisiche alla base dell'elettromagnetismo, aiutando nell'apprendimento dei concetti teorici fornendo un chiarimento mediante un esempio ed una prova pratica.



**Figura 96-Principali campi d'impiego dei generatori elettrici a pedali**

Per quanto riguarda la trasmissione meccanica del moto, le ruote dentate e le catene si confermano nuovamente come la soluzione ottimale, ma non mancano i progetti che usano ugualmente delle ruote di frizione per trasferire la potenza dai pedali al generatore (figura 97). Infatti queste ultime, sebbene siano notoriamente inefficienti, sono comunque molto semplici da realizzare, soprattutto nell'ottica di un prototipo costruito partendo da oggetti di scarto. Passando al volano, ovviamente, è possibile trovarlo in ogni caso valutato, mentre mancano in generale i deragliatori, poiché normalmente si desidera un solo valore di tensione in uscita dal generatore e pertanto risultano scarsamente utili per perfezionare le prestazioni del sistema. Infine la struttura del dispositivo è stata quasi sempre costruita da zero, siccome l'unico esempio selezionato che adopera una bicicletta collegata ad un sostegno da allenamento per bici modificato ha ampiamente dimostrato quanto poco efficienti siano queste soluzioni. In molte occasioni i telai vengono realizzati in acciaio, per garantire una maggiore sicurezza, anche se il tipo di impiego richiesto permettono di utilizzare il legno senza particolari problemi, come dimostrato da alcuni degli esemplari osservati; i modelli molto piccoli vengono addirittura realizzati in plastica. Da questa analisi si evince che per progettare un buon generatore elettrico a pedali, oltre ad eliminare tutte le parti deboli del sistema, è necessario pianificare dall'inizio la propria idea, incominciando dai campi di applicazione che si vogliono soddisfare ed evitando qualsiasi soluzioni che coinvolga trasmissioni meccaniche poco prestanti.

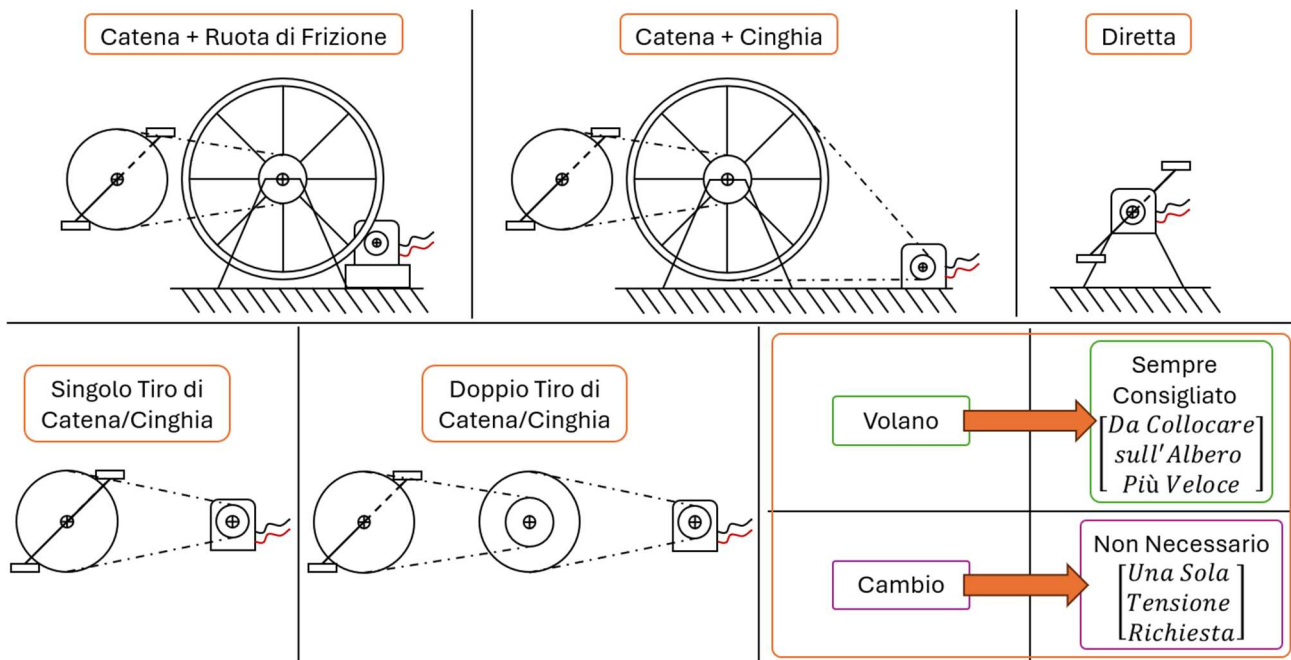


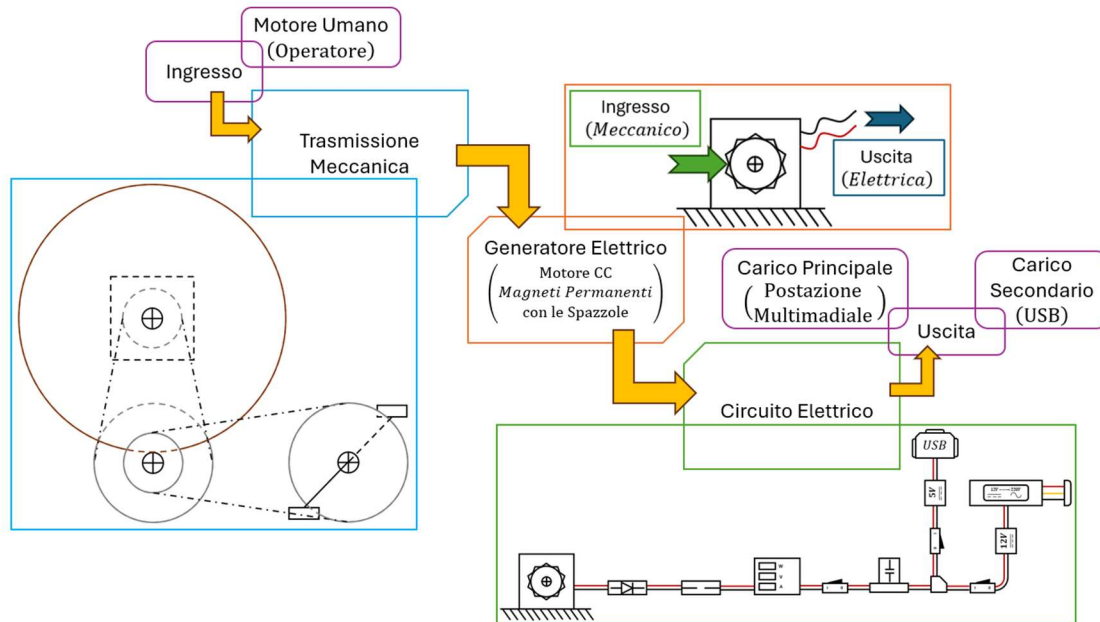
Figura 97-Design tipici del sistema di trasmissione meccanica dei generatori elettrici a pedali

## 6-Progettazione e Simulazione

L'analisi condotta finora e le informazioni raccolte non solo permetteranno di guidare e semplificare la progettazione del proprio generatore elettrico a pedali, ma anche di comprendere, inquadrare ed arricchire il proprio bagaglio culturale attorno ai temi della ecosostenibilità, delle fonti energetiche alternative, ma soprattutto riscoprire l'utilità dei macchinari ad energia umana, inizialmente scartati perché poco potenti e poi dimenticati. Queste indagini hanno fundamentalmente permesso di apprendere che il cambiamento deve arrivare dalle persone e le tecnologie appropriate possiedono il potenziale adeguato, ed un valore aggiunto, in grado di innescare il desiderio di correggere il proprio stile di vita con abitudini più sane e rispettose dell'ambiente. Le macchine intermedie non solo sono sostenibili, ma la loro semplicità intrinseca le garantisce l'opportunità di raggiungere tutte le persone nel mondo, indipendentemente dal loro ceto sociale o dalle conoscenze tecniche e scientifiche a disposizione; infatti, ad esempio, tutti possiedono o sanno usare una bicicletta, sia gli adulti e che i bambini. La capacità di soddisfare le esigenze del singolo individuo o della comunità sono un fatto appurato e le tecnologie che regolano queste apparecchiature sono ampiamente accessibili, quindi la vera finalità delle macchine appropriate è di invogliare le persone a volere e pretendere questa rivoluzione, rendendo intriganti temi quali l'ecosostenibilità e le energie rinnovabili, insegnando al tempo stesso nuovi valori ed pratiche più sane. La vera intenzione di questa tesi è appunto quello della comunicazione sostenibile e con il generatore elettrico pedali che verrà progettato si auspica dimostrare che non solo il cambiamento è possibile, ma non richiede nemmeno dei sacrifici particolarmente gravosi. I motori animati, oggi più che mai, possono migliorare le condizioni di vita malsane che coinvolgono nello specifico le società industrializzate: oltre ad una valida alternativa nel garantire produzioni e modelli di consumo che riducano l'impatto ambientale, arricchiscono anche il benessere del corpo e della mente, con l'esercizio fisico e abitudini meno sedentarie e frenetiche. Lo scopo è quello di far comprendere che è indispensabile prendersi cura dell'ambiente circostante e della propria salute psicofisica, per poter godere appieno dei frutti che la natura è in grado di offrire. Giunti a questo punto occorre condensare tutte le informazioni recuperate nei capitoli precedenti per riuscire così ad identificare la soluzione più appropriata possibile per un generatore elettrico a pedali. Il design che caratterizzerà le scelte progettuali dovrà assolutamente rispettare i pilastri che sorreggono le peculiarità delle tecnologie appropriate, perciò il prototipo finale si pretende che sia semplice, cioè facile da costruire e riparare, che si adoperino materiali reperibili localmente, che ovviamente non inquinino, che sia agevole da trasportare ed infine che possa essere utilizzato da chiunque e dovunque, senza fatica né scomodità. Tuttavia per poter procedere bisogna innanzitutto chiarire di quali dati si dispongono e, soprattutto, quali impieghi sono previsti in particolare per il nostro progetto. Quindi l'elemento di partenza più importante e fondamentale è definire chiaramente qual è lo scopo del dispositivo che si vuole realizzare: nel nostro caso specifico esso dovrà alimentare una postazione multimediale composta da un PC, una webcam ed un microfono. In aggiunta si possono prevedere anche un certo numero di porte USB a 5 V (un paio può essere sufficiente), alle quali collegare lo smartphone, il tablet o qualche altro apparecchio che sia possibile ricaricare in questa modalità. Queste informazioni permettono di apprendere, con un certo margine, quale potenza dovrà essere in grado di erogare il generatore elettrico; pertanto ne guideranno la selezione. Gli studi condotti precedentemente hanno già consentito di individuare la velocità media ottimale alla quale dovranno ruotare le gambe, che sarà necessario predisporre dello spazio per il volano e che la struttura dovrà essere costruita partendo da scarti o componenti economici, facilmente rintracciabili ovunque. Note queste informazioni, si prosegue con la scelta del motore elettrico, poiché dovrà essere in grado di fornire la potenza pretesa dalle apparecchiature collegate, ma soprattutto è tassativo conoscere le sue specifiche tecniche per poter progettare la parte di trasmissione meccanica del moto. Infatti, dopo aver selezionato la tensione nominale in uscita ed il numero di giri ad essa associata, sarà allora possibile individuare il rapporto di trasmissione che consentirà di trasformare i 60 giri al minuto dei pedali nel



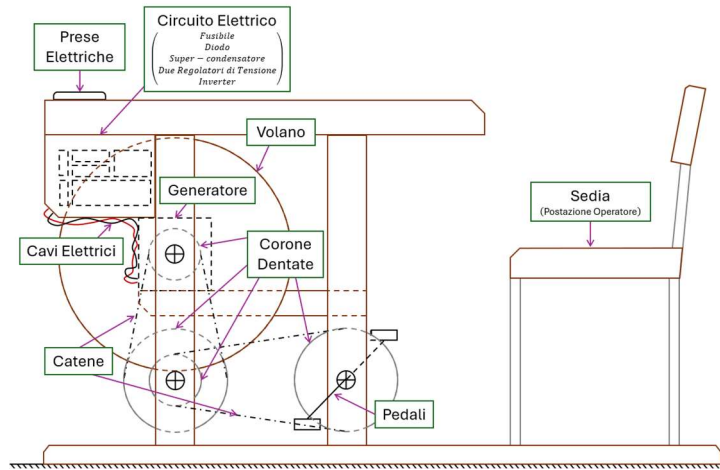
valore richiesto dal generatore. Terminata la definizione delle principali caratteristiche tecniche del progetto (figura 98), sarà possibile concludere il processo di progettazione eseguendo la modellazione dell'intero sistema mediante il programma Simulink, per simulare l'efficacia e le prestazioni del modello realizzato, ma soprattutto per determinare i tutti parametri caratteristici dei vari elementi che costituiranno il prototipo finale. Questa analisi permetterà anche di osservare le eventuali criticità, evidenziando gli aspetti più deboli del progetto che si sta concretizzando, per poterli così correggere.



**Figura 98-Schematizzazione preliminare delle parti che costituiscono il generatore a pedali**

## 6.1-Scelte Progettuali Tecniche

Gli elementi basilari che bisognerebbe definire in via preliminare, prima ancora di poter ideare la componente meccanica e quella elettrica del proprio generatore elettrico a pedali, sono la postazione dell'operatore e il materiale del telaio di supporto, oltre alla forma dell'intera struttura. Il filo conduttore che governa l'estetica ed il design dell'intero progetto è quello di provare a realizzare un dispositivo agevole e comodo da utilizzare, quindi l'aspetto generale del prototipo sarà presumibilmente quello di una scrivania di dimensioni modeste e dovrà permettere la produzione di energia elettrica e al tempo stesso di svolgere un'attività secondaria (lavorare alla postazione multimediale mentre si sta pedalando). Conviene evitare tutte le soluzioni che impiegano una bicicletta o una cyclette perché, al di là di della necessità di doverle modificare per poterle adattare alla funzione di generazione di elettricità, si avrebbe l'inconveniente di costringere il lavoratore in una posizione abbastanza scomoda che ostacolerebbe qualsiasi attività al di fuori dell'allenamento fisico. Infatti questo tipo di macchinari sono particolarmente indicati per effettuare dell'attività motoria e, secondariamente, per produrre elettricità che, considerando la configurazione del sistema, può essere soltanto immagazzinata in batterie esterne oppure per alimentare un apparecchio multimediale (TV, monitor, ecc.) e così distrarsi durante l'esercizio. Per quanto riguarda invece la seduta dell'operatore si pensa di adottare una semplice sedia (non compresa nella struttura finale), in modo tale che chiunque possa adattare le proprie esigenze ergonomiche all'operazione di generazione dell'elettricità. Infine per costruire il telaio verrà, probabilmente, adoperato il legno di abete, un materiale ampiamente diffuso e che non richiede particolari abilità per essere maneggiato. Questa preferenza rispetto al metallo (acciaio) è dettata principalmente dal fatto che la lavorazione di un metallo esigerebbe delle competenze pregresse nel campo della saldatura dei metalli, che non possono essere trascurate. Nella figura 99 è stato riportato, indicativamente, l'aspetto di riferimento che si desidera raggiungere con il prototipo finale del generatore elettrico a pedali.



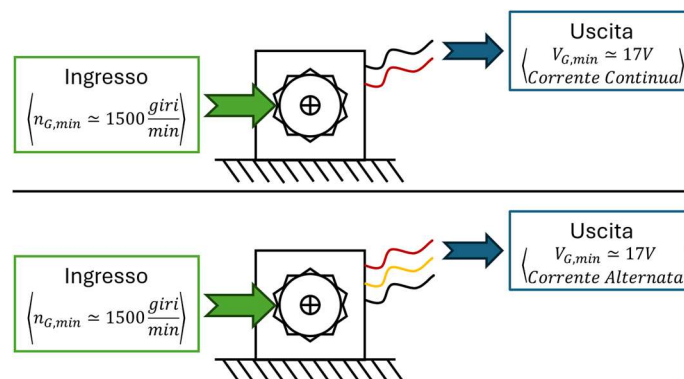
**Figura 99-Vista laterale dell'esempio progettuale di riferimento del generatore elettrico a pedali**

### 6.1.1-Il Motore/Generatore Elettrico

Un esame preliminare ha già permesso di inquadrare ed agevolare la scelta del motore elettrico che dovrà lavorare come un generatore, riducendola ai soli motori a magneti permanenti e sono adatti sia i modelli con le spazzole (in corrente continua, CC) che quelli che ne sono sprovvisti (in corrente continua, CA). Infatti l'unico imperativo che deve essere rispettato è che siano in grado di fornire energia elettrica a basse velocità di rotazione del rotore ( $n_{G,min}$ ), possibilmente inferiori ai 2000 giri al minuto. In particolare si pretende che il generatore possa garantire sia una differenza di potenziale ( $V_{G,min}$ ) ai capi dei suoi morsetti un valore (circa 17 V) capace di controbilanciare le cadute di tensione e le perdite del circuito, sia una velocità che possa essere raggiunta comodamente in questo tipo di applicazioni (figura 100). Ora grazie alle informazioni raccolte nel paragrafo 5.2, in particolare facendo riferimento alla figura 45, è possibile calcolare mediante una semplice formula la specifica velocità di rotazione che il rotore dovrà raggiungere per poter assicurare la tensione desiderata:

$$n_{G,min} = \frac{n_{NoLoad}}{V_{G,nom}} V_{G,min};$$

dove  $V_{G,nom}$  è la tensione nominale e  $n_{NoLoad}$  si riferisce alla velocità senza carico del modello scelto (vengono riportate nella scheda tecnica fornita dal costruttore).

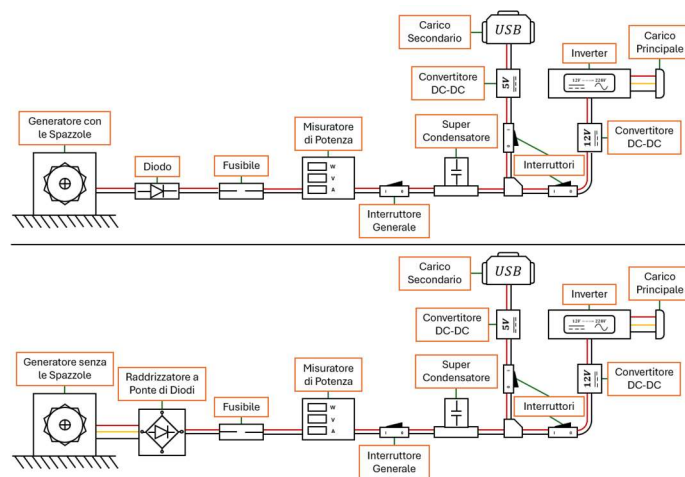


**Figura 100-Schema del generatore elettrico: con le spazzole (Sopra) o senza le spazzole (Sotto)**

Ora, dal momento che le differenze tecniche effettive non inficiano significativamente sulle prestazioni totali e siccome la particolare condizione di utilizzo richiesta dal progetto comunque non permette alle due categorie di macchinari di esprimere al meglio le peculiarità che le distinguono, allora la decisione finale sarà influenzata esclusivamente dal costo e dalla disponibilità. Tuttavia, data la semplicità delle equazioni che regolano i modelli che possiedono le spazzole, durante la costruzione dello schema su Simulink verrà considerata soltanto questa tipologia di motori.



questi requisiti tecnici e senza dimenticarsi ovviamente dei cavi elettrici, dovrà sicuramente ospitare almeno due convertitori DC-DC, per stabilizzare e regolare il voltaggio, uno per la postazione multimediale (220 V in corrente alternata) e l'altro per le uscite USB (5 V in corrente continua), ed un inverter, che si occuperà di modificare la corrente continua (a 12 V, poiché sono molto diffusi i modelli che in ingresso pretendono questo voltaggio) in alternata per il carico (a 220 V). Invece permane il dubbio sull'effettiva utilità di una capacità di accumulo elettrica, come una batteria o meglio ancora un super-condensatore, avendo già appurato la loro maggiore efficienza ed ecosostenibilità, oltre a non avere nemmeno bisogno di particolari misure di sicurezza che regolino e controllino il loro processo di ricarica. Infatti l'unica tipologia di applicazione prevista per questo progetto riguarda di fatto la fornitura di corrente ad un PC (un laptop mediamente assorbe una potenza di 20÷50 Wh) o, eventualmente, anche la ricarica di apparecchi elettronici medio-piccoli mediante le prese USB (il consumo massimo è di circa 15 Wh, per una singola porta USB). Si tratta di impieghi che prevedono entrambi l'uso di dispositivi dotati di una batteria interna e per questo motivo inserire un'ulteriore capacità di accumulo nella struttura significherebbe soltanto ridurre le prestazioni totali del generatore. Tuttavia potrebbe essere una buona idea modellare comunque l'intero sistema come se ne fosse provvisto e verificare così l'effettiva utilità; in ogni caso è sempre possibile rimuoverla in un secondo momento se si riscontrano delle prestazioni scadenti. Nell'eventualità quindi che si decidesse di introdurre ugualmente un semplice super-condensatore, sarebbe pertanto imprescindibile includere anche un diodo, se il motore avesse le spazzole, oppure un raddrizzatore a diodi, se il motore fosse sprovvisto di spazzole. A conti fatti è necessario impedire alla "batteria" interna alla struttura di alimentare il generatore, facendolo tornare a lavorare come un motore; nel caso si trattasse di un modello brushless allora si avrebbe in aggiunta l'esigenza di convertire la corrente alternata prodotta in corrente continua. Per garantire una maggiore sicurezza è fondamentale completare ancora il sistema (figura 102) inserendo un misuratore di potenza, per poter controllare l'energia erogata dal generatore, un fusibile, nell'ipotesi che la corrente prodotta superi un certo valore di sicurezza, e degli interruttori, per scollegare o collegare i vari carichi in base all'effettivo utilizzo.



**Figura 102-Schema del circuito elettrico: caso con motore provvisto di spazzole (Sopra) e caso con motore privo delle spazzole (Sotto)**

## 6.2-Modellazione Matematica

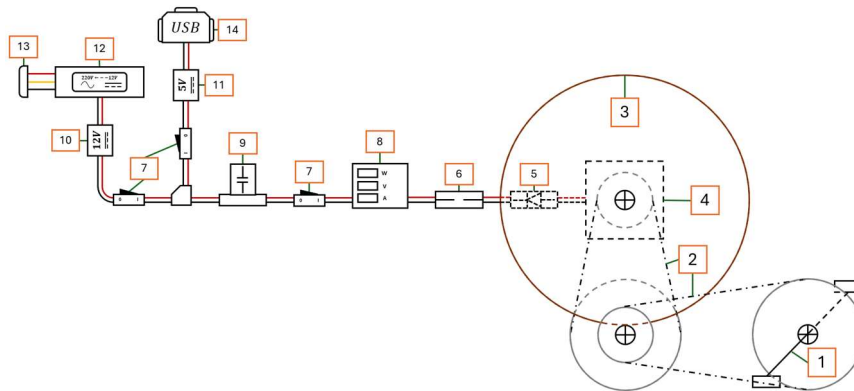
Lo studio dell'intero impianto di generazione dell'elettricità verterà su un esame dinamico dei suoi molteplici componenti e verrà suddiviso in tre sottogruppi principali: la prima sezione riguarderà un'analisi dei meccanismi che permettono di trasferire la potenza muscolare dai pedali all'albero del generatore, la seconda si concentrerà solamente sul generatore elettrico, mentre l'ultima si occuperà della componentistica del circuito elettrico. La modellazione verrà eseguita ricorrendo all'ausilio del programma Simulink, un ambiente di simulazione con diagrammi a blocchi, associato a Matlab, che

viene utilizzato per progettare sistemi dinamici con modelli multi-dominio e senza dover scrivere un codice o un algoritmo. Al fine di attuare un'indagine efficace e funzionale bisogna in primo luogo schematizzare complessivamente il dispositivo, identificando tutti i componenti che partecipano attivamente nel processo di generazione dell'energia elettrica. Per semplificare l'indagine si potrebbe in seguito suddividere l'insieme in alcuni sottosistemi, per poter scrivere così separatamente, e pertanto in modo più agevole, le equazioni e le relazioni che descrivono gli equilibri dinamici di tutti gli elementi che lo compongono. Infine si potranno immettere le informazioni e le formule così ricavate su Simulink, mediante la realizzazione di uno schema a blocchi che descriverà l'intera struttura e permetterà anche di simularla. Tuttavia, per effettuare concretamente questa modellazione, occorre innanzitutto conoscere le giuste strategie di implementazione che consentono al programma che si sta impiegando, in questo caso Simulink, di elaborare dei risultati accurati e ragionevoli. Esattamente per questa ragione non è sufficiente conoscere le equazioni che regolano l'apparato che si vuole simulare ed approfondire, siccome la programmazione su computer introduce alcune limitazioni dovuta al modo in cui i calcolatori digitali svolgono i calcoli. Quindi è indispensabile prestare una maggiore attenzione durante la trattazione, per evitare di inciampare in errori che porterebbero a dei pessimi risultati, molto imprecisi o completamente sbagliati. Una delle avvertenze prioritarie e più rilevanti, per quanto riguarda la trasposizione su Simulink del proprio progetto, è quella di evitare, per quanto possibile, qualsiasi formulazione matematica che coinvolga delle derivate, dato che introducono delle discontinuità nel sistema o dei loop algebrici che sono molto più onerosi da computare. Di fatto, nella libreria del programma è presente un blocco che si occupa di risolvere questa tipologia di operazioni, ma per funzionare correttamente si devono rispettare delle precise condizioni, che non sempre è possibile onorare. Di conseguenza solitamente si preferisce servirsi degli operatori di integrazione, che viceversa vengono processati eccellentemente. Perciò lo scopo generale al quale attenersi è quello di riscrivere le equazioni affinché garantiscano dei "modelli matematici nella forma migliore" (MathWorks). Lo studio verrà condotto in condizioni essenzialmente ideali, poiché si desidera realizzare una schematizzazione che in prima approssimazione possa dimostrare la bontà del progetto che verrà poi costruito. Inoltre molto spesso non è pienamente possibile conoscere a priori alcune informazioni essenziali per una riproduzione numerica completa ed accurata (nei minimi dettagli) del proprio sistema. Tuttavia l'effettiva modellazione del generatore elettrico a pedali non può essere condotta se, oltre alla definizione dei diversi elementi costitutivi, non si specifica chiaramente pure quale sia l'intento dell'indagine. Infatti, qualunque sia la simulazione da eseguire, l'esito dei calcoli è ovviamente funzionale al tipo di informazioni che possono essere inizialmente reperite, e grazie alle quali viene concretamente costruito il modello matematico, ma soprattutto agli stessi risultati ricercati. L'utilità e l'efficacia di uno studio non può essere garantita se in primo luogo non è nota la meta che si vuole raggiungere, dato che conoscere chiaramente il reale proposito della propria analisi permette di evitare un'inutile perdita di tempo durante la costruzione di un programma che dopo tutto svolgerebbe dei calcoli il cui esito non apporterebbe alcun valore alla trattazione, o peggio ancora si rivelasse totalmente inutile. Ad ogni modo le conclusioni così acquisite potranno indirizzare l'effettiva scelta del materiale definitivo più appropriato che dovrà essere usato per la costruzione del prototipo finale. Successivamente si potrebbero confrontare le prestazioni restituite dal sistema realizzato su Simulink con quelle ottenute dallo stesso macchinario nel caso venisse costruito, per controllare che i due comportamenti siano in una certa misura coerenti.

### 6.2.1-Schematizzazione del Sistema

Comporre un modello matematico che riproduca il funzionamento di un macchinario, che sia meccanico oppure elettrico, o magari entrambi (come in questa particolare analisi), richiede ovviamente che siano già stati definiti i vari componenti che lo compongono ed il lavoro che dovrà essere in grado di svolgere. Per questa ragione è indispensabile innanzitutto raggruppare e riorganizzare tutte le soluzioni progettuali e i componenti, che sono stati individuati precedentemente, in un unico

schema, in modo tale da assicurare una rappresentazione ordinata e compatta dell'intero sistema di generazione dell'elettricità. Grazie a questa rappresentazione verrà garantita una più agevole comprensione degli elementi che regolano il comportamento generale del dispositivo e permetterà così di verificare la possibilità di implementare effettivamente un programma che ne simuli correttamente la dinamica durante l'esercizio. La modellazione del generatore elettrico a pedali, che verrà implementata su Simulink, sarà condotta facendo riferimento allo schema riportato nella figura 103: infatti, a meno di qualche correzione o revisione relativa al design del prototipo finale, le caratteristiche tecniche resteranno comunque invariate e fedeli a quelle presentate in questa schematizzazione.



**Figura 103-Schema generale del sistema di produzione dell'elettricità**

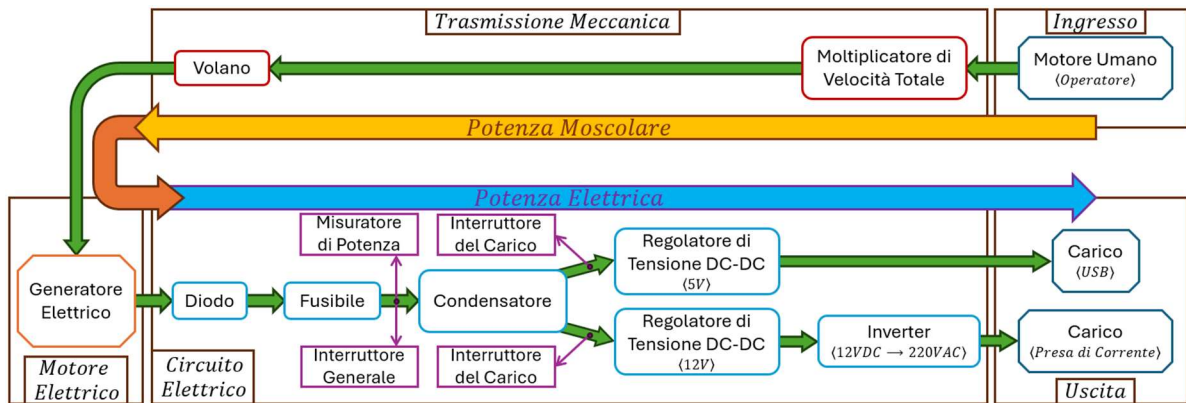
Dopo aver completato lo schema dell'intero macchinario può essere altresì opportuno e vantaggioso riportare ed indicare in un unico elenco (tabella 1) ogni singolo elemento che partecipa al processo di produzione dell'energia elettrica. In questo modo viene garantita una maggiore coesione delle informazioni e assicura, al tempo stesso, anche una migliore praticità quando poi sarà il momento di selezionare il materiale che verrà realmente adoperato per costruire il prototipo finale.

Sottosistema del Generatore Elettrico a Pedali	Componenti
Ingresso	1-Motore Umano (Operatore)
Parte Meccanica	2-Moltiplicatore di Velocità Totale
	3-Volano
Generatore Elettrico	4-Motore CC a Magneti Permanenti con le Spazzole
Circuito Elettrico	5-Diodo
	6-Fusibile
	7-Interruttori
	8-Misuratore di Potenza
	9-Super-condensatore
	10-Convertitore DC-DC 1
	11-Convertitore DC-DC 2
	12-Inverter
Uscita	13-Carico Principale (Postazione Multimediale)
	14-Carico Secondario (USB)

**Tabella 1-Nomenclatura dei principali componenti del prototipo**

Ora che sono stati finalmente stabiliti tutti gli elementi costitutivi del dispositivo, occorre allora riunire tutte queste informazioni in un singolo schema a blocchi che ne illustri il comportamento generale, partendo dalle gambe dell'utilizzatore fino ad arrivare al carico. Perciò, come anticipato, nella figura 104 è stata realizzata una schematizzazione nella quale i vari componenti sono stati disposti in

successione secondo l'ordine di attivazione, dall'ingresso verso l'uscita, e mediante delle frecce è stata perfino specificata la direzione del flusso di potenza che attraversa l'intera macchina.

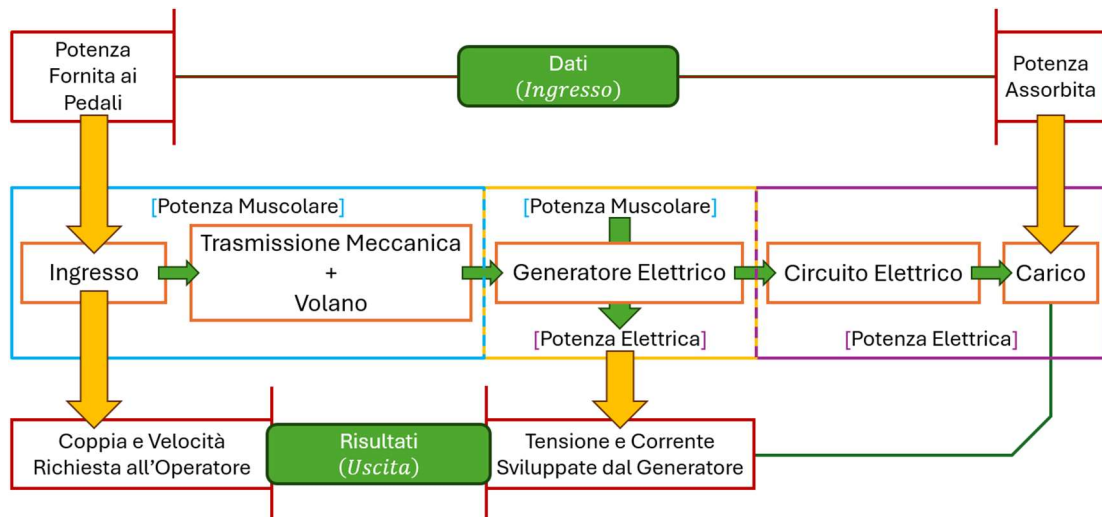


**Figura 104-Schema a blocchi del sistema di trasferimento e conversione della potenza**

Grazie a questo schema si può immediatamente dedurre che il modello da costruire su Simulink dovrà essere composto da cinque sottosistemi principali: l'ingresso, la struttura di trasmissione meccanica, il generatore elettrico, il circuito elettrico e l'uscita. In aggiunta, concentrando l'attenzione su un singolo elemento appartenente ad uno qualsiasi dei vari sottogruppi, si osserva che i risultati da esso elaborati e restituiti dovranno ovviamente contenere, se possibile, le stesse informazioni richieste in ingresso da quello successivo.

### 6.2.2-Utilità dell'Indagine

Lo schema a blocchi, derivato dai diversi componenti e meccanismi appartenenti al dispositivo, ha permesso di mostrare il funzionamento dell'intero apparato di trasformazione della potenza muscolare in elettricità, ma non è sufficiente al fine di condurre e completare efficacemente una sua simulazione: dunque è giunto il momento di determinare ufficialmente le informazioni che può fornire il programma realizzato con l'ausilio di Simulink. Infatti fin dall'inizio bisognerebbe chiedersi quali risultati si cerca di estrapolare proprio attraverso questi calcoli: riflettendo con attenzione sulla questione emerge chiaramente che le informazioni più rilevanti e pertinenti da acquisire sono la coppia e la velocità richieste all'operatore, ma anche la tensione e la corrente sviluppate dal generatore, quando si conoscono in anticipo sia la potenza esercitata sui pedali che quella assorbita dall'utenza (figura 105). A tal proposito verrebbe valutato il tipo di sforzo fisico che deve essere raggiunto mentre si lavora alla postazione del macchinario, in base al dispositivo elettronico che si decide di collegare.



**Figura 105-Lavoro svolto dalle simulazioni**

### 6.2.3-I Modelli Dinamici dei Componenti

L'analisi preliminare condotta sulla schematizzazione presentata nella figura 106 non ha evidenziato particolari impedimenti che vadano ad ostacolare realmente l'implementazione del comportamento dinamico del generatore tramite un programma che ne simuli le prestazioni di lavoro. Il flusso di energia che percorre il macchinario segue appunto un percorso lineare senza alcuna ramificazione complessa, ma per potere attuare questo approfondimento è necessario che siano riproducibili in forma matematica le diverse attività che dovranno svolgere ciascuno dei componenti costitutivi del generatore durante il suo esercizio. Per questa ragione potrebbe inevitabilmente capitare che alcuni di essi debbano essere rielaborati con l'ausilio di formule e modelli semplificati, poiché l'andamento dinamico reale risulterebbe troppo complesso per poter essere descritto mediante delle semplici equazioni. Ad esempio è assolutamente plausibile che l'inverter o i convertitore DC-DC si dimostrino piuttosto complessi da implementare, oppure che gli effettivi contributi degli interruttori o del misuratore di potenza molto probabilmente si scoprano completamente trascurabile. Pertanto, prima di poter davvero realizzare il diagramma a blocchi del sistema su Simulink e così svolgere le diverse simulazioni, nei capitoli successivi verranno individuate tutte le espressioni e le formule che concorrono nello studio dinamico di ognuno degli elementi del dispositivo coinvolto nella produzione di elettricità.

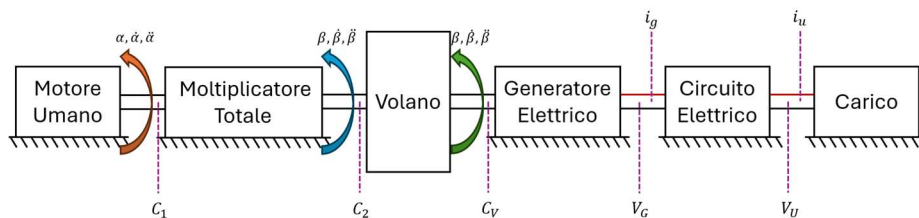


Figura 106-Schematizzazione dinamica dell'intero generatore elettrico a pedali

#### 6.2.3.1-Ingresso e Trasmissione Meccanica

L'aspetto meccanico del processo di generazione dell'elettricità verrà studiata facendo riferimento allo schema descritto nella figura 107; i due tiri di catena rappresentati nell'immagine sono soltanto a titolo di esempio, siccome il numero effettivo non influisce in modo incisivo sulle prestazioni complessive del sistema. Analizzando nel dettaglio l'immagine si possono distinguere tre elementi distinti: il motore umano (o ingresso), un generico moltiplicatore di velocità (totale) ed il volano; dove il motore è costituito dai muscoli delle gambe, che generano il movimento, e dai pedali, che lo trasmettono, mentre il moltiplicatore di velocità complessivamente è costituito da due, o tre, meccanismi realizzati con corone dentate e catene, che trasferiscono il moto. Sarà quindi necessario suddividere l'esame della parte meccaniche in tre ulteriori sottogruppi ed approfondirli separatamente, esprimendo le grandezze cinematiche e le coppie che agiscono su ognuno di essi; soltanto alla fine verranno riuniti nuovamente in un unico gruppo.

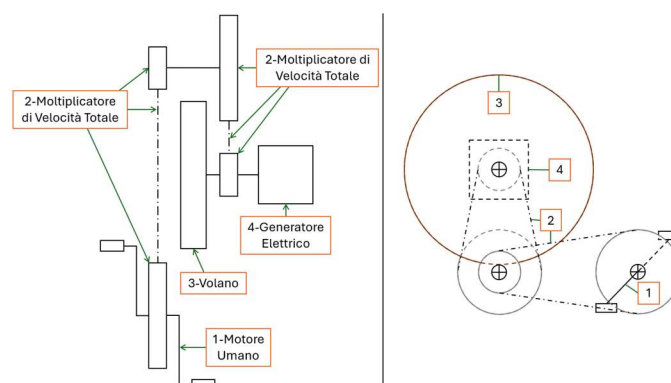


Figura 107-Schema dell'ingresso e dell'impianto di trasmissione meccanica (due tiri di catena)



### -MOTORE UMANO (INGRESSO)

L'attività delle gambe dell'operatore è paragonabile ad un motore che eroga una potenza ad una velocità costante. Le indagini condotte dall'ingegnere D. G. Wilson (2020) hanno fatto emergere che la forza esercitata sui pedali non è costante lungo tutta la durata di una rotazione completa dei pedali, ma varia presentando un massimo ed un minimo. Tuttavia lo studio della potenza erogata partendo dalla forza esercitata sui pedali è piuttosto complicato e poco pratico, per questo motivo nell'analisi che seguirà verrà assunto un valore costante di potenza, grazie al quale sarà anche possibile calcolare la coppia mediamente sviluppata attraverso la seguente formula:

$$C_M = \frac{P_{gambe}}{\dot{\alpha}_{gambe}} \left[ \frac{W}{rad/s} = Nm \right].$$

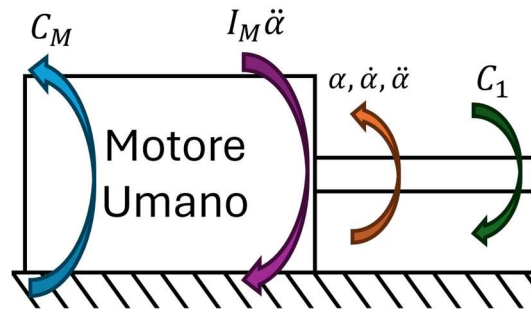


Figura 108-Diagramma del corpo libero del motore umano

Il diagramma del corpo libero riportato in figura 108 schematizza il motore umano, dove sono stati rappresentati i momenti che agiscono sul sottosistema, perciò si può scrivere l'equazione che descrive l'equilibrio dinamico alla rotazione:

$$C_M - I_M \ddot{\alpha} - C_1 = 0.$$

### -MOLTIPLICATORE DI VELOCITÀ TOTALE

Il moltiplicatore di velocità è un meccanismo di trasmissione meccanica che permette di trasferire il moto variando contemporaneamente la velocità e la coppia che riceve all'ingrasso. Il rapporto di trasmissione che si instaura grazie a questo congegno lo si calcola con la seguente formula:

$$\tau_i = \frac{\dot{\gamma}_{out}}{\dot{\gamma}_{in}} = \frac{r_{in}}{r_{out}} = \frac{N_{in}}{N_{out}} \Rightarrow \dot{\gamma}_{out} = \tau_i \dot{\gamma}_{in};$$

dove  $\dot{\gamma}_{in}$  e  $\dot{\gamma}_{out}$  sono le velocità angolari,  $r_{in}$  e  $r_{out}$  sono i raggi delle due ruote dentate e infine  $N_{in}$  e  $N_{out}$  sono il loro numero di denti. I componenti (catena e corone) utilizzati per realizzare il meccanismo permettono di garantire un rendimento prossimo all'unità (circa il 99%), tuttavia è opportuno tenere in conto il rendimento:

$$\eta_i = \frac{C_{out} \dot{\gamma}_{out}}{C_{in} \dot{\gamma}_{in}} = \frac{C_{out}}{C_{in}} \tau_i \Rightarrow C_{in} = \frac{\tau_i}{\eta_i} C_{out}.$$

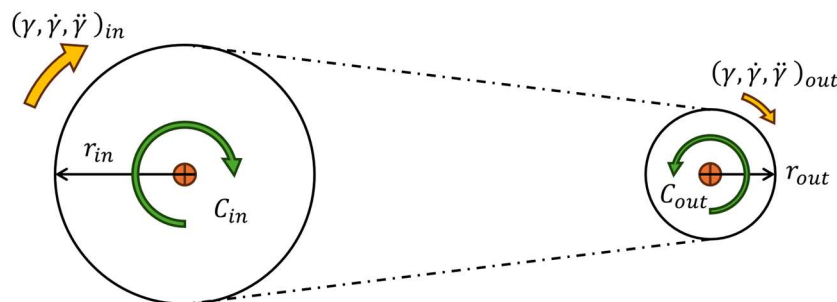


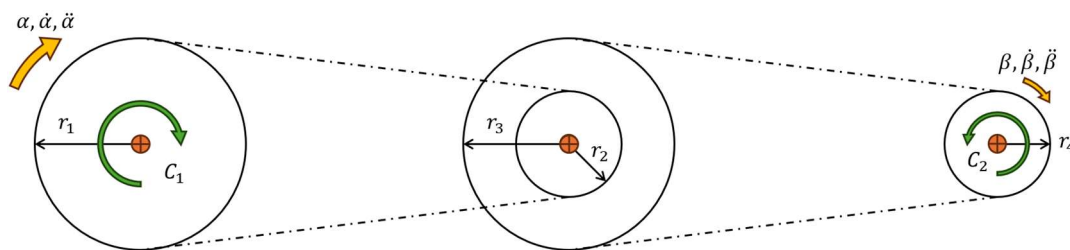
Figura 109-Schema di un generico moltiplicatore di velocità con un singolo tiro di catena

Inoltre, durante la trattazione verranno trascurate le inerzie del sottosistema, dal momento che le masse delle corone dentate sono abbastanza ridotte, dell'ordine di qualche etto. Nella figura 109 è stato schematizzato il diagramma del corpo libero di un generico moltiplicatore di velocità, mentre le relazioni che descrivono il suo equilibrio dinamico alla rotazione sono le seguenti:

$$\dot{\gamma}_{out} = \tau_i \dot{\gamma}_{in},$$

$$C_{in} = \frac{\tau_i}{\eta_i} C_{out}.$$

Ora, la particolare configurazione realizzata consente di accoppiare in un unico meccanismo i diversi moltiplicatori di velocità, dal momento che verranno posizionati in serie, uno di seguito all'altro (figura 110). Di conseguenza questo nuovo gruppo di trasmissione eseguirà in un solo passaggio la stessa trasformazione che in realtà viene realizzata tipicamente in due o tre fasi separate.



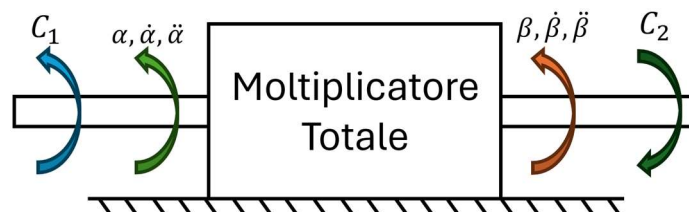
**Figura 110-Schema della trasmissione meccanica totale (esempio con doppio tiro di catena)**

Verrà perciò garantito un rapporto di trasmissione equivalente al prodotto dei rapporti di trasmissione sviluppati nei singoli apparecchi separatamente e lo stesso vale per il rendimento:

$$\tau_{tot} = \prod_{i=1}^n \tau_i,$$

$$\eta_{tot} = \prod_{i=1}^n \eta_i;$$

dove la maggior parte delle volte  $n = 2 \div 3$ .



**Figura 111-Diagramma del corpo libero del moltiplicatore totale di velocità**

Per questa ragione, facendo riferimento al diagramma del corpo libero presentato nella figura 111, serviranno a questo punto delle equazioni più appropriate per regolare l'equilibrio dinamico tra l'ingresso e l'uscita dell'intero sottosistema:

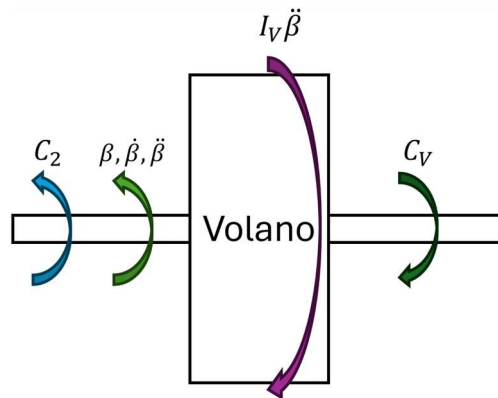
$$\dot{\beta} = \tau_{tot} \dot{\alpha},$$

$$C_1 = \frac{\tau_{tot}}{\eta_{tot}} C_2.$$

#### -VOLANO

Il volano è un elemento meccanico la cui massa, e quindi l'inerzia che può sviluppare, gioca un ruolo centrale, poiché determina la quantità di energia cinetica che esso stesso è in grado di accogliere ad una certa velocità di rotazione: difatti se la velocità aumenta, allora maggiore sarà la potenza che potrà immagazzinare. Per questa ragione è sempre preferibile collegarlo all'albero più veloce dell'intero

apparato che si sta realizzando, benché le altre scelte progettuali o la struttura generale del sistema, potrebbero ostacolare questa disposizione.



**Figura 112-Diagramma del corpo libero del volano**

Il diagramma del corpo libero riportato nella figura 112 schematizza le coppie agenti sul sottosistema del volano e l'equazione che esprime l'equilibrio dinamico alla rotazione è la seguente:

$$C_2 - I_V \ddot{\beta} - C_V = 0.$$

### 6.2.3.2-Generatore Elettrico

La tipologia di motore elettrico selezionato per questo progetto permette di semplificare l'analisi poiché consente di avvalersi di alcune informazioni già ampiamente conosciute: in generale, infatti, la coppia prodotta da un motore CC (o DC) è proporzionale alla corrente che attraversa la sua armatura e all'intensità del campo magnetico che può sviluppare. Nel caso in questione è in realtà possibile agevolare ulteriormente lo studio dal momento che il campo magnetico viene imposto dai magneti permanenti presenti nello statore, che lo mantengono costante. Ne consegue che la coppia del motore sarà proporzionale soltanto alla corrente  $i$  per un fattore costante  $k_c$  (costante di coppia), come riportato nella seguente equazione:

$$C_G = k_c i_g;$$

per tale ragioni i particolari modelli esaminati vengono designati come motori controllati dall'armatura. Il circuito elettrico equivalente di queste macchine è sostanzialmente un circuito  $RL$ , ovvero sia presenta una resistenza ( $R_G$ ) e un'induttanza ( $L_G$ ), in cui si incontra anche una forza controelettromotrice ( $E_A$ ), che è proporzionale alla velocità angolare del rotore per una costante  $k_e$  (costante di tensione):

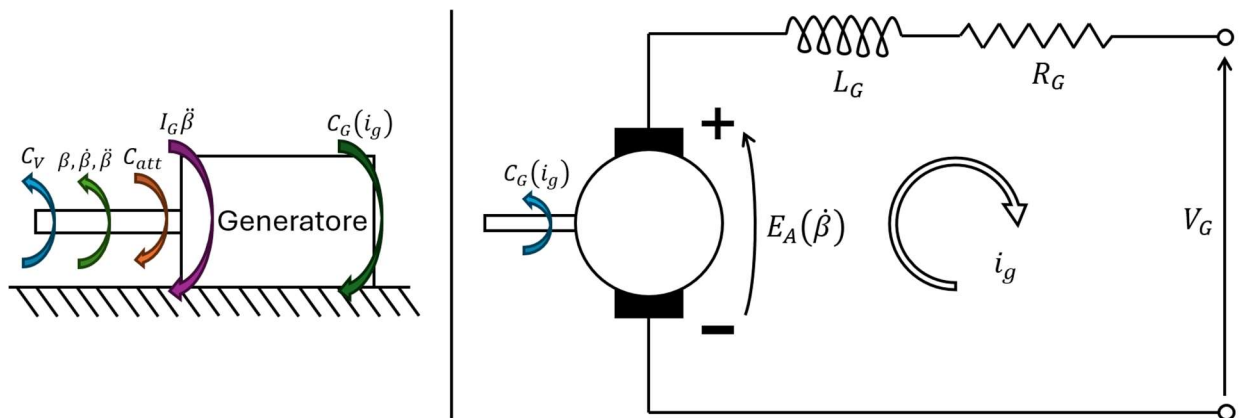
$$E_A = k_e \dot{\beta}.$$

Inoltre, in questo tipo di motori il fattore  $k_c$  è equivalente al fattore  $k_e$  della forza controelettromotrice, dunque è conveniente riscrivere l'espressione della coppia ( $C_G$ ) servendosi di una generica costante  $k$ :

$$C_G = k_c i_g = k_e i_g = k i_g.$$

Le stesse considerazioni appena ottenute sono ugualmente valide per un generatore elettrico CC a magneti permanenti, poiché di fatto si tratta dello stesso dispositivo che però lavora al contrario, con l'unica differenza di dover riscrivere correttamente le relazioni che regolano il suo funzionamento, facendo attenzione soprattutto ai segni dei vari termini coinvolti. In aggiunta, durante la trattazione, verrà considerato pure il contributo degli attriti viscosi agenti sul rotore, che sono proporzionali alla sua velocità di rotazione per un fattore costante  $b$  (chiamata costante di attrito viscoso):

$$C_{att} = b \dot{\beta}.$$



**Figura 113-Diagramma del corpo libero (Sinistra) e circuito elettrico equivalente (Destra) del generatore elettrico**

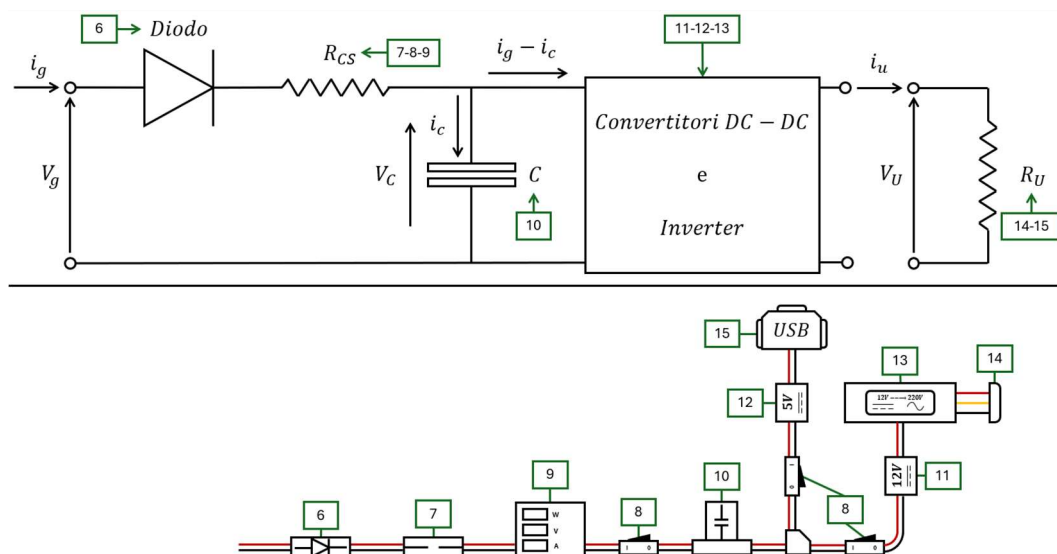
Il generatore, o dinamo, necessita di due schemi che dovranno scomporre l'aspetto meccanico dalla componente elettrica, affinché sia possibile approfondire correttamente il suo comportamento dinamico. Il diagramma del corpo libero descriverà le coppie agenti sul sistema, mentre il circuito elettrico equivalente esporrà il comportamento delle tensioni, o le cadute di potenziale, sviluppate dalla sua componentistica. Per questo motivo, facendo riferimento alla figura 113, si dovranno scrivere due equazioni di equilibrio:

$$C_2 - C_{att} - I_G \ddot{\beta} - C_G = 0 \text{ (da Equilibrio dinamico alla rotazione),}$$

$$L_G \frac{di_g}{dt} + R_G i_g + V_G - E_A = 0 \text{ (da Seconda legge di Kirchoff).}$$

### 6.2.3.3-Circuito Elettrico ed Uscita

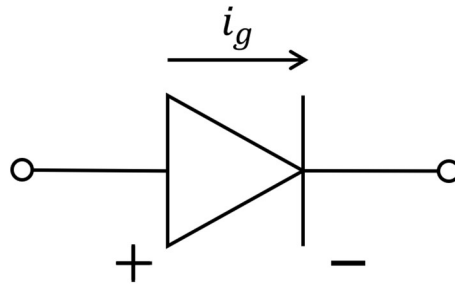
La modellazione del circuito elettrico è l'aspetto più complicato e delicato da trattare, sia dal punto di vista della disponibilità di tutte le informazioni indispensabili a completarlo, sia per l'effettiva costruzione del diagramma a blocchi su Simulink della componentistica che si vuole introdurre (figura 114). Nonostante questa premessa anche per quanto riguarda quest'ultima parte è senz'altro necessario suddividere la trattazione in ulteriori sottosistemi: il diodo, il super-condensatore, i convertitori DC-DC, l'inverter, la componentistica supplementare e il carico. Concluso quest'ultimo studio, sarà finalmente possibile comporre un unico schema dell'intero generatore elettrico a pedali, compreso di tutte le sue parti, su Simulink.



**Figura 114-Modello elettrico equivalente (Sopra) e schema (Sotto) del circuito e del carico**

## -DIODO

Il diodo semplice (figura 115) è un componente elettrico il cui principio di funzionamento consente al flusso di corrente che lo attraversa di percorrerlo in una sola direzione e idealmente lo blocca completamente nel senso opposto. Nel sistema che si vuole realizzare è fondamentale includerne uno, come già ampiamente spiegato in precedenza, poiché deve assolutamente impedire al super-condensatore di alimentare il generatore elettrico e mettere così in moto i pedali. Idealmente quando diodo quando viene attraversato da una corrente continua si comporta sostanzialmente come una semplice resistenza, che in una verso risulta praticamente nulla, nell'altro invece dovrebbe essere infinita.

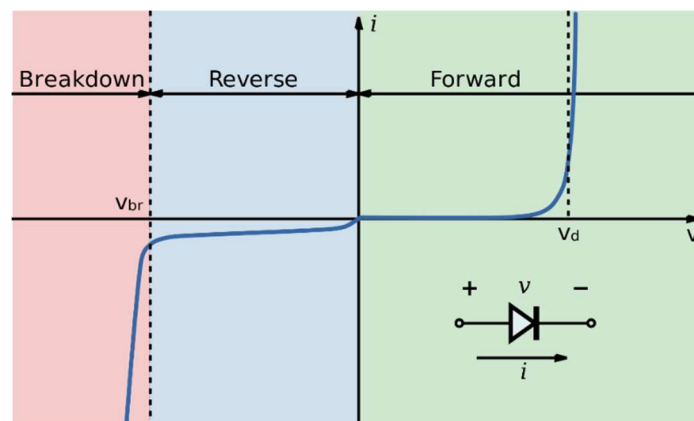


**Figura 115-Simbolo elettrico del diodo ideale**

L'equazione che descrive approssimativamente il comportamento di un diodo ideale, mostrando il legame tra la tensione e la corrente, è la seguente:

$$i_D = i_s \left( e^{\frac{V_D}{nV_T}} \right) \Rightarrow V_D = nV_T \ln \left( \frac{i_D}{i_s} + 1 \right) \text{ (Equazione di Shockley);}$$

dove  $i_s$  è la corrente di saturazione inversa,  $n$  è il fattore di idealità (che per un diodo ideale è sempre uguale a 1),  $V_T$  è la tensione termica (che a temperatura ambiente è pari a 26 mV),  $i_D$  è la corrente che attraversa il diodo e  $V_D$  è la differenza di potenziale ai capi del diodo. Infine, il funzionamento di questi elementi può essere rappresentato mediante delle curve tensione-corrente (figura 116) per una maggiore comprensione del loro comportamento: esse tracciano il livello di corrente, e il verso, a cui vengono sottoposti al variare della tensione imposta sui morsetti.

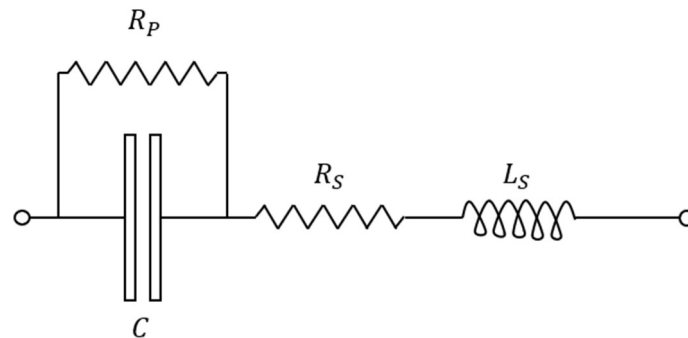


**Figura 116-Caratteristica tensione-corrente di un diodo reale (Hardwigg, 2011)**

## -SUPER-CONDENSATORE

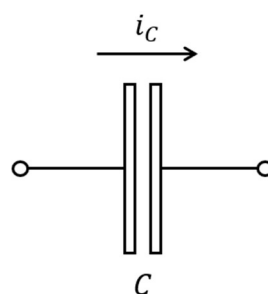
Prima di poter modellare il super-condensatore, o ultracondensatore, è necessario recuperare le nozioni precedentemente espone nel paragrafo 5.3.2: questi dispositivi sono di fatto una particolare versione di condensatore che permette unicamente di immagazzinare un numero di cariche elettriche straordinariamente superiore. Infatti mentre i modelli base sono caratterizzati da capacità ( $C$ )

dell'ordine dei mF (millifarad), i super-condensatori possono addirittura superare un migliaio di farad. Proprio per le ragioni sopra elencate questi dispositivi di accumulo vengono trattati allo stesso modo in cui si studiano i normali condensatori, sfruttando esattamente le stesse relazioni che ne governano il funzionamento.



**Figura 117-Modello elettrico di un condensatore reale**

Nella figura 117 viene mostrato il modello elettrico di un condensatore reale, dove, oltre alla capacità ( $C$ ), si può notare l'introduzione di due ulteriori resistenze, una in parallelo ( $R_p$ ) e l'altra in serie ( $R_s$ ), e pure un'induttanza ( $L_s$ ), sempre in serie. Questi elementi parassiti affiorano a causa dei materiali con i quali vengono costruiti questi dispositivi, che vanno ad introdurre delle perdite durante l'utilizzo rispetto ad una circostanza ottimale (figura 118). In particolare la resistenza e l'induttanza in serie dipendono prevalentemente dai contatti elettrici che lo collegano al resto del circuito e solitamente sono rilevanti soltanto ad elevate frequenze; mentre invece la resistenza in parallelo tiene conto delle imperfezioni del materiale dielettrico posizionato tra le armature, che quindi permette l'insorgere di una minuscola corrente dissipativa che lo porterà a scaricarsi lentamente quando non è in funzione. Tuttavia ognuno di questi elementi di perdita, grazie alle specifiche condizioni d'impiego richieste da questo progetto, non è in grado di provocare un significativo discostamento dal caso ideale. Le ragioni principali sono da imputare al tipo di corrente che attraversa il circuito elettrico, quella continua, che essenzialmente sopprime il contributo della resistenza e dell'induttanza in serie e pertanto si possono trascurare. Inoltre l'effetto introdotto della corrente che scarica progressivamente il condensatore da spento, è un argomento scarsamente interessante da approfondire.

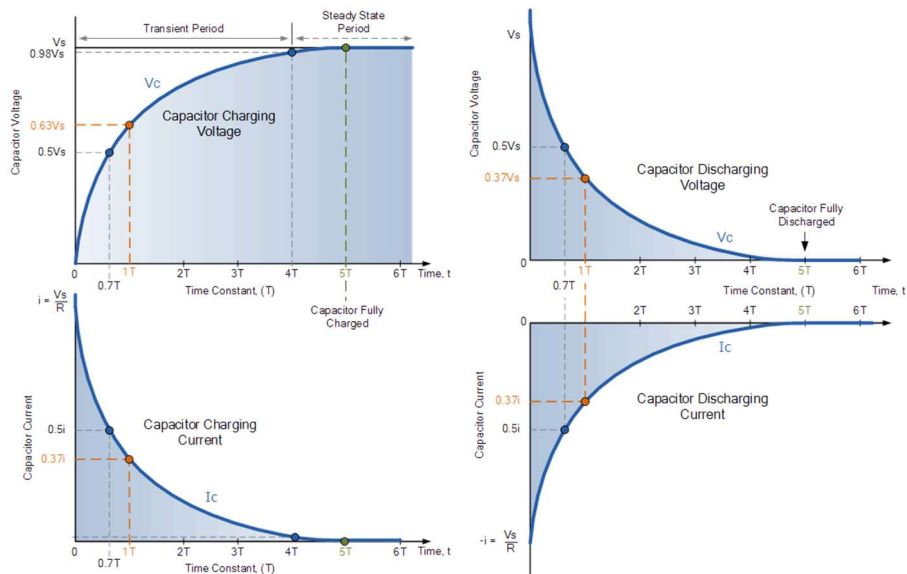


**Figura 118-Simbolo elettrico di un condensatore ideale**

L'equazione, in forma differenziale, che regola il comportamento di un condensatore, vale a dire il ciclo di carica-scarica, è la seguente:

$$i_C(t) = C \frac{dv_C(t)}{dt}.$$

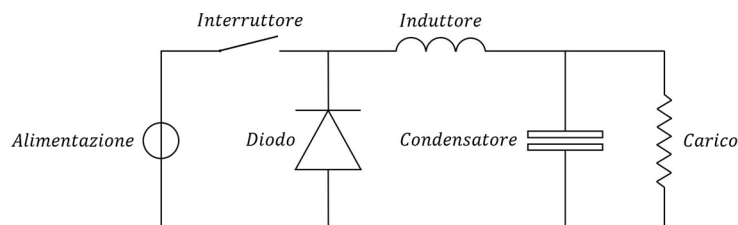
Grazie a questa espressione è possibile descrivere nel dettaglio il processo di carica o scarica che coinvolge il suo funzionamento; queste informazioni si possono addirittura riportare facilmente su grafici che raffigurano le curve relative all'andamento della tensione e della corrente al variare del tempo (figura 119).



**Figura 119-Caratteristiche della tensione e della corrente di un condensatore durante il processo di carica (Sinistra: Electronic Tutorials) e di scarica (Destra: Electronic Tutorials)**

#### -CONVERTITORI DC-DC O CONVERTITORI BUCK

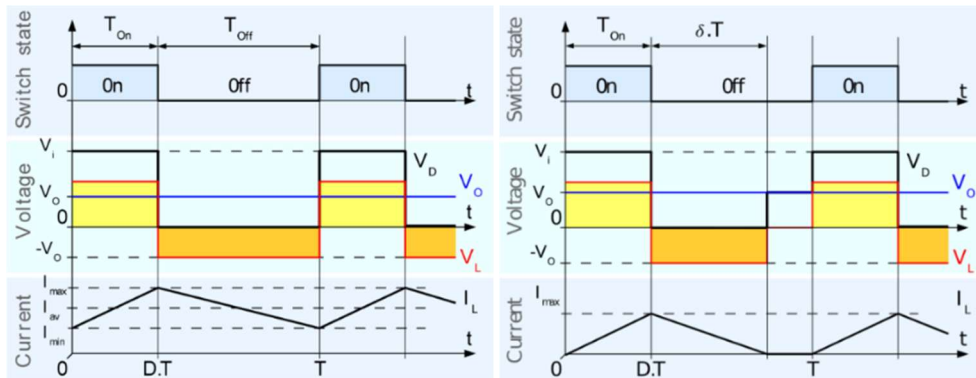
Il circuito elettrico del generatore a pedali che verrà realizzato deve obbligatoriamente garantire al carico che viene collegato dei precisi livelli di tensione, altrimenti molti dei dispositivi che si proverebbe ad alimentare non potrebbero funzionare correttamente o affatto. Inoltre dalle soluzioni progettuali individuate nel paragrafo 6.1 è emerso piuttosto chiaramente che i due specifici convertitori DC-DC richiesti dall'applicazione devono entrambi abbassare la tensione che ricevono in ingresso, perciò in fase di selezione del materiale per costruire il prototipo finale occorrerà concentrare l'attenzione sui modelli conosciuti come "Convertitore Buck".



**Figura 120-Generico circuito elettrico equivalente di un Convertitore Buck**

Questa particolare tipologia di convertitori DC-DC è caratterizzata da efficienze molto elevate (possono superare addirittura il 95%) e permettono di ridurre appunto la tensione in ingresso ad un valore desiderato, contemporaneamente però aumentano la corrente erogata al carico ad essi collegato. In generale, figura 120, questi dispositivi sono costituiti da un interruttore (tipicamente un transistor), un diodo (che funge da secondo interruttore), un induttore ed un condensatore; sebbene possa capitare molto spesso che i singoli modelli differiscano da questa definizione in base alle scelte progettuali adottate dai singoli costruttori. Il processo che regola il loro funzionamento consiste di due stati, quello acceso e quello spento, controllati mediante azionamento dell'interruttore principale: quando l'interruttore si chiude allora l'induttore viene alimentato e il condensatore caricato, quando invece si apre la corrente accumulata viene ceduta al carico, erogando al carico l'energia immaginata precedentemente (figura 121). L'alternanza delle condizioni on-off è esattamente il motivo principale che determina la riduzione della tensione e l'aumento della corrente, ma bisognerebbe comunque distinguere anche le due modalità di lavoro predominanti. Infatti la quantità di energia richiesta dal carico, che in altre parole deve essere convertita, impone due distinte categorie di comportamento: la modalità continua è quella predominante, prevista dalle condizioni di progetto, e si verifica solo quando

la corrente non va mai a zero durante il ciclo di commutazione; al contrario quella discontinua si instaura quando la potenza da trasferire è abbastanza ridotta, consentendo così una riduzione del tempo di commutazione dell'interruttore, provocando in questo modo l'annullamento della corrente.



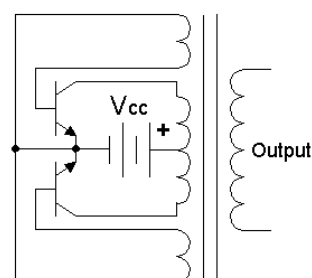
**Figura 121-Evoluzione nel tempo della tensione e della corrente in un Convertitore Buck ideale: modalità continua (Sinistra: CyrilB, 2006) e modalità discontinua (Sinistra: CyrilB, 2006)**

Dal momento che molto spesso l'utenza collegata al generatore elettrico a pedali richiede che la corrente non si azzeri mai, e comunque prevedendo un impiego che rientra nelle condizioni di progetto dei due dispositivi successivamente selezionati, si può concludere che è sufficiente studiare unicamente la modalità di funzionamento continua. Pertanto l'equazione differenziale che regola il legame tra la corrente che percorre l'induttore e la sua tensione, durante la commutazione dell'interruttore, è la seguente:

$$V_{CB} = L_{CB} \frac{di_{CB}}{dt}$$

### -INVERTER

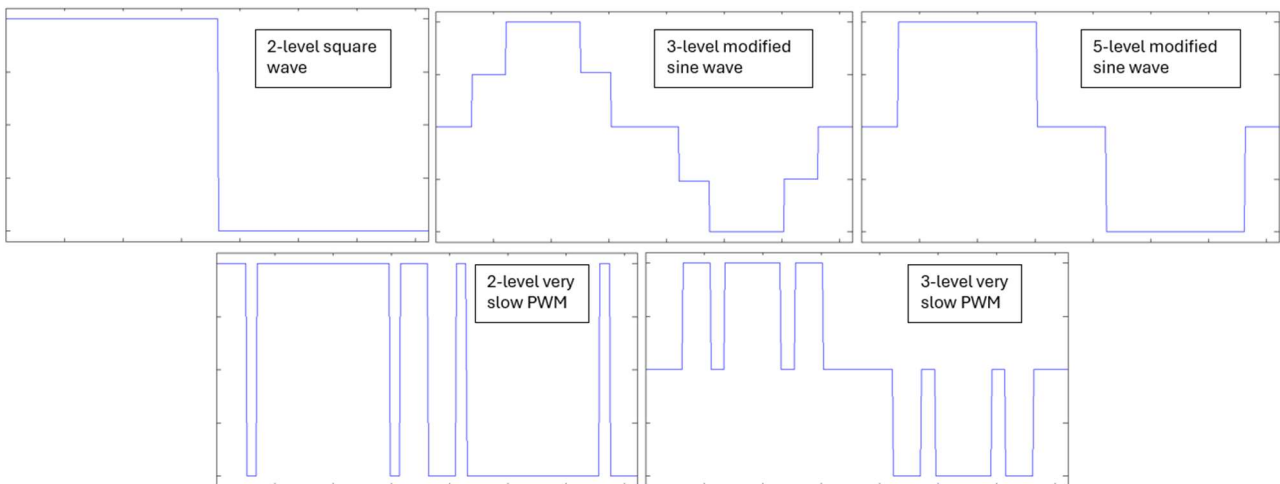
L'obiettivo principale del generatore elettrico a pedali che si vuole realizzare attraverso questa tesi è quello di alimentare una postazione multimediale composta da un PC (un laptop), una webcam ed un microfono, quindi si richiede di produrre una potenza elettrica che deve essere poi fornita a 110/220 V ed in corrente alternata (60/50 Hz), overosia deve poter erogare la stessa elettricità reperibile collegandosi ad una comunissima presa domestica. Tuttavia il generatore elettrico distribuisce l'energia sviluppata soltanto in corrente continua e ad un voltaggio decisamente inferiore a quello desiderato, perciò è assolutamente necessario un dispositivo che sia in grado di eseguire queste specifiche conversioni. A questo scopo possiamo avvalerci degli apparati inverter, concepiti proprio per soddisfare queste precise esigenze di trasformazione: mediante un complesso sistema di interruttori, abilmente pilotati da un terminale di controllo elettronico, sono capaci di convertire un segnale continuo all'ingrosso in uno alternato e alla giusta frequenza. Successivamente, se richiesto dall'applicazione, o meglio nel caso in cui la tensione imposta all'ingrosso sia minore di quella che occorre, grazie alla dotazione di un normale trasformatore si può anche aumentare la differenza di potenziale erogabile (figura 122).



**Figura 122-Modello elettrico equivalente di un generico inverter (Cowie, 2006)**



La rete elettrica domestica è alimentata con una particolare tipologia di corrente elettrica che inverte periodicamente la direzione ed l'intensità, con una certa frequenza, in modo progressivo e continuo nel tempo. Per questa ragione un qualsiasi inverter deve poter garantire una corrente caratterizzata, tipicamente, da una forma d'onda sinusoidale e dunque il sistema di controllo è incaricato di pilotare correttamente il suo esclusivo circuito elettrico affinché venga soddisfatta questa precisa condizione. Tuttavia le tecniche che assicurano un andamento sinusoidale sono molteplici e diversificate, influenzate espressamente dal modello selezionato, cioè dipendono dal suo peculiare circuito elettrico e la strumentazione di controllo (figura 123).



**Figura 123-Esempi di forme d'onda sviluppate dagli inverter (Mikiemike, 2010)**

**-COMPONENTISTICA SUPPLEMENTARE**

Nella definizione del modello di simulazione i seguenti componenti possono essere equiparati a semplici resistenze di valore trascurabile poiché ininfluenti sotto ogni altro aspetto: il fusibile, gli interruttori, il misuratore di potenza e i collegamenti (fili) elettrici, si potrebbero addirittura trascurare, evitando quindi di modellarli, o al massimo considerali equivalenti a delle semplici resistenze (figura 124). Difatti il loro contributo sulle perdite reali dell'intero sottosistema è in effetti paragonabile proprio a quello di una normale resistenza (seppur minima) che dissipa parte dell'energia assorbita in calore nell'ambiente circostante.



**Figura 124-Circuito elettrico equivalente della componentistica supplementare**

A seguito di questa affermazione l'effetto provocato all'interno del circuito è unicamente una caduta di potenziale elettrico (tra il diodo e il super-condensatore), che determina semplicemente una diminuzione della tensione iniziale (seppur minima) erogata dal generatore elettrico. Inoltre trattandosi di quattro resistenze in serie si può agevolare ulteriormente l'analisi del seguente sottogruppo dal momento che in questa particolare configurazione il contributo di ognuna di loro è di fatto pari a quello di una sola resistenza equivalente, ottenibile banalmente sommando tra loro i singoli valori:

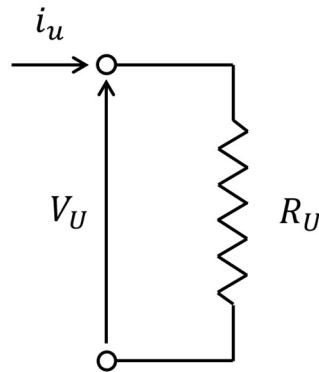
$$R_{CS} = R_{fusibile} + R_{interruttori} + R_{misuratore} + R_{fili-potenza}$$

Mentre l'espressione che governa il legame tra la tensione e la corrente di questo sottogruppo è la seguente:

$$V_{CS} = R_{CS}i_g.$$

### -USCITA (CARICO)

Considerando la condizione di lavoro più onerosa dal punto di vista dell'operatore, vale a dire quando sono connesse in contemporanea sia la postazione multimediale sia gli apparecchi elettronici alle porte USB, allora possiamo valutare il carico come un'unica entità il cui consumo energetico è equiparabile alla somma delle richieste energetiche delle singole utenze. Infatti l'aspetto veramente importante da determinare è la potenza che il macchinario riesce a garantire al carico, in termini di tensione e corrente, indipendentemente dal tipo di dispositivo che viene ad esso collegato.



**Figura 125-Circuito elettrico equivalente dell'utenza**

Da queste premesse si giunge alla conclusione che la rappresentazione ottimale, al fine di garantire una riproduzione coerente e abbastanza fedele di questo sottosistema, consiste appunto nell'assumere il carico alla stregua di una semplice resistenza equivalente (figura 125). In aggiunta l'equazione, molto semplice, che descrive il comportamento della tensione e della corrente di questa tipologia di circuito si è già incontrata:

$$V_U = R_U i_U.$$

Tuttavia, data l'elevata varietà delle specifiche tecniche dei dispositivi che possono essere collegati, molto più conveniente accorpare in un unico gruppo che racchiude il contributo del carico e di tutto il circuito elettrico, associando così complessivamente la loro richiesta energetica (durante l'attività di produzione dell'elettricità) ad un unico termine, la stessa resistenza equivalente  $R_U$ .

#### 6.2.4-Il Modello Simulink

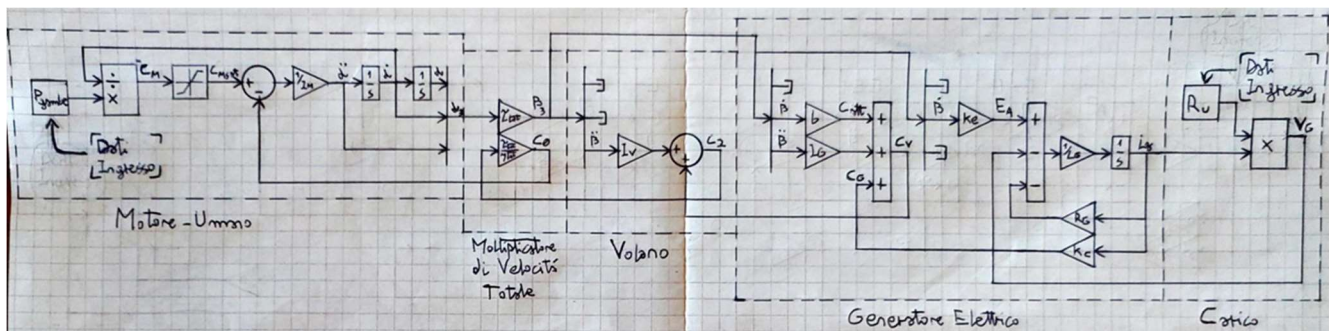
La modellazione del generatore elettrico a pedali è l'argomento più delicato e complicato che verrà trattato in questa tesi e pertanto sono opportune alcune considerazioni iniziali, prima di poter proseguire effettivamente con la simulazione. Innanzitutto è giusto chiarire che di seguito verrà condotta la simulazione selezionata nel paragrafo 6.2.2 (figura 105), vale a dire che dovrà essere calcolata la coppia e la velocità, richiesta all'operatore durante l'azionamento del macchinario, conoscendo in anticipo sia l'andamento della potenza muscolare fornita dall'operatore ai pedali che il comportamento dell'energia elettrica assorbita dal carico. Date le circostanze, l'approfondimento di questa specifica simulazione non impone dei particolari vincoli sulla schematizzazione da realizzare, per cui la si può costruire partendo dal carico per poi risalire fino all'ingresso, o viceversa. A tal proposito occorre riorganizzare le varie equazioni introdotte durante lo studio sul comportamento dinamico dei singoli elementi, che comporranno il prototipo finale, affinché sia possibile calcolare, e quindi acquisire, i risultati ricercati. Per questo motivo la precedente analisi è stata un passaggio indispensabile, senza il quale ora non sarebbe decisamente possibile determinare, anche se soltanto in via preliminare o comunque ipotetica e provvisoria, il diagramma a blocchi che nei paragrafi successivi verrà proposto per essere riprodotto su Simulink. Tuttavia, come riportato nella tabella 2, la difficoltà nel reperire completamente le corrette informazioni progettuali necessarie a modellare accuratamente l'intero dispositivo, comprensivo di tutte le sue parti, è un aspetto che non può essere

assolutamente trascurato e che richiederà un livello di approssimazione di cui si dovrà tener conto, in alcune occasioni, durante la costruzione dello schema che dovrà simularne il comportamento dinamico.

Componenti	Modello Simulink
1-Motore Umano (Operatore)	Si
2-Moltiplicatore di Velocità Totale	Si
3-Volano	Si
4-Motore CC a Magneti Permanenti con le Spazzole	Si
5-Diodo	Semplificato
6-Fusibile	Semplificato
7-Interruttori	Semplificato
8-Misuratore di Potenza	Semplificato
9-Super-condensatore	Semplificato
10-Convertitore DC-DC 1	Semplificato
11-Convertitore DC-DC 2	Semplificato
12-Inverter	Semplificato
13-Carico Principale (Postazione Multimediale)	Semplificato
14-Carico Secondario (USB)	Semplificato

**Tabella 2-Definizione preliminare dei modelli che verranno realizzati su Simulink**

A sostegno di queste scelte progettuali interviene sostanzialmente la finalità di fondo che ha determinato inizialmente l'intera modellazione: in altre parole il desiderio di osservare il comportamento del macchinario, che però concerne soprattutto la trasmissione meccanica ed il generatore elettrico, semplificando di conseguenza la trattazione del circuito elettrico (figura 126). In questo modo verrà verificata in prima approssimazione, ma comunque in modo tangibile, la validità del sistema, identificandone eventualmente le carenze e così selezionare in risposta le accortezze che dovranno correggere e migliorare le sue prestazioni.

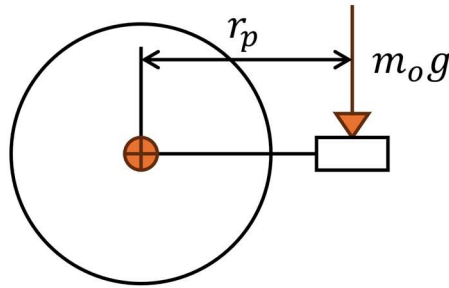


**Figura 126-Schema a blocchi dell'intero generatore elettrico a pedali**

#### 6.2.4.1-Ingresso e Trasmissione Meccanica

La modellazione della componente meccanica è il primo aspetto che deve essere approfondito e probabilmente il più importante, poiché è di fatto il sottosistema che dovrà fornire il risultato principale che si sta appunto ricercando attraverso queste osservazioni, ossia l'andamento della coppia ( $C_M$ ) e della velocità ( $n_{gambe}$  oppure  $\dot{\alpha}$ ) richieste alle gambe, oltre a dover reperire i valori dei dati progettuali da fornire alla schematizzazione realizzata su Simulink, senza i quali altrimenti non sarebbe possibile ottenere dei risultati validi e assicurare così una corretta simulazione. In aggiunta è opportuno riconoscere poi che la coppia massima che può essere esercitata all'ingresso del dispositivo è di fatto limitata a quella generabile applicando l'intero peso dell'operatore sui pedali (figura 127):

$$C_{Mmax} = r_p m_o g.$$

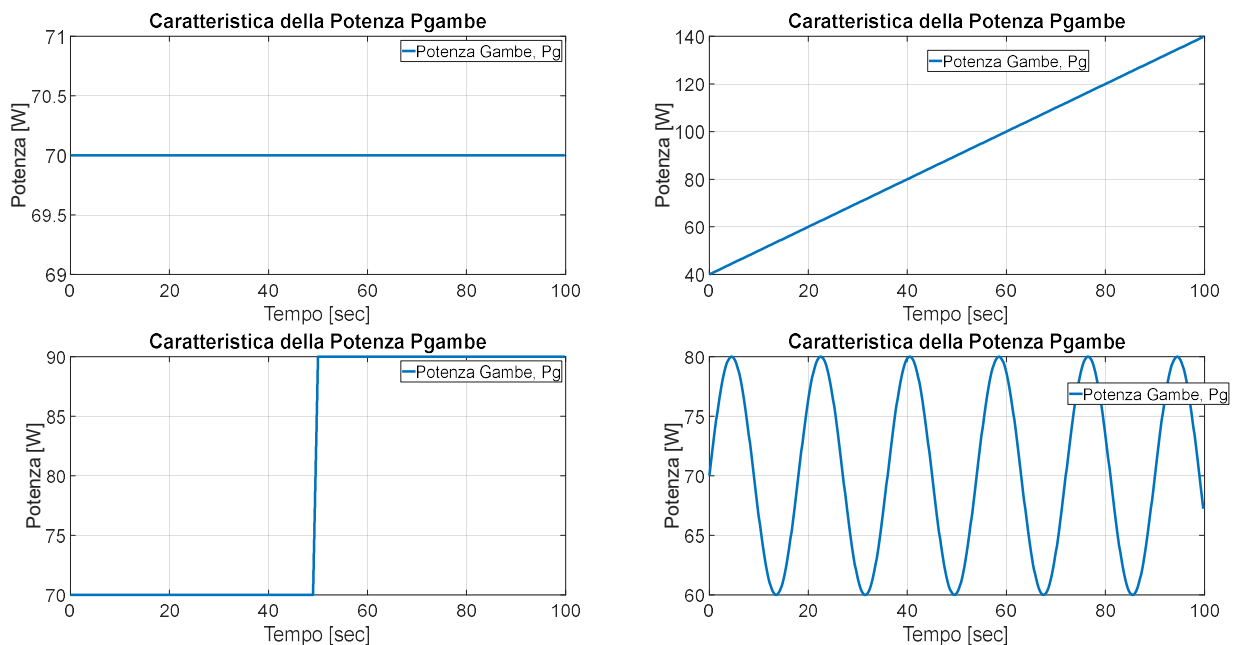


**Figura 127-Schema della coppia massima esercitabile mediante i pedali**

Ora, se si considera che mediamente la lunghezza delle pedivelle ( $r_p$ ) è compresa tra i 150 e i 180 mm (si ipotizza  $r_p$  pari a 175 mm) e assumendo un peso medio dell'operatore attorno ai 70 kg ( $m_o$ ), allora si ricava che la coppia massima che si riesce ad imprimere è di circa 120 Nm. Siccome l'equazione che lega la potenza alla coppia motrice ( $C_M$ ), che una persona comune è in grado di erogare, e alla velocità di rotazione dei pedali ( $n_{gambe}$  oppure  $\dot{\alpha}$ ) è la seguente:

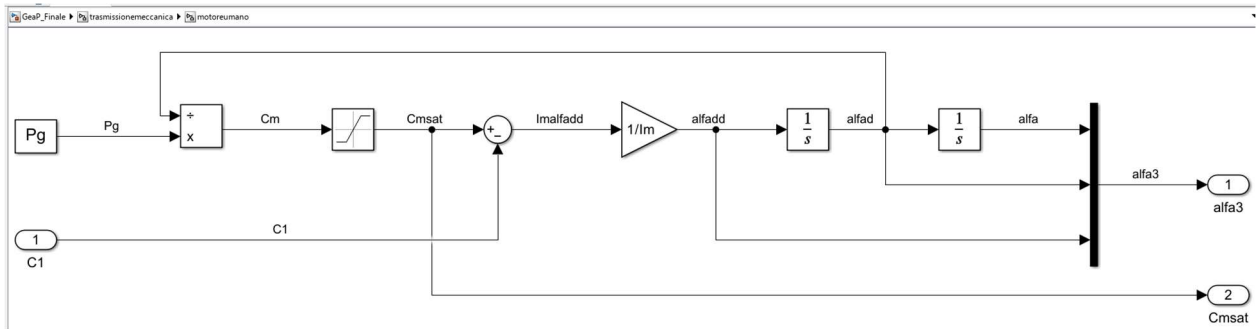
$$P_{gambe} = C_M \dot{\alpha},$$

allora è possibile ricavare immediatamente, nota appunto l'energia investita dall'operatore, una delle altre due grandezze se si è già calcolata l'altra, per poter costruire così la caratteristica meccanica ed infine completare il modello del sistema. Perciò è fondamentale conoscere in partenza la variazione della  $P_{gambe}$  per poter eseguire correttamente la simulazioni richiesta da questa analisi, dunque sono stati assunti e considerati dei valori e degli andamenti che normalmente coinvolgono questo tipo di apparecchi (figura 128). Gli altri input che si dovranno immettere comprendono tutti i momenti d'inerzia ( $I_M$  e  $I_V$ ) e il rapporto di trasmissione totale ( $\tau_{tot}$ ) presenti nel sistema.

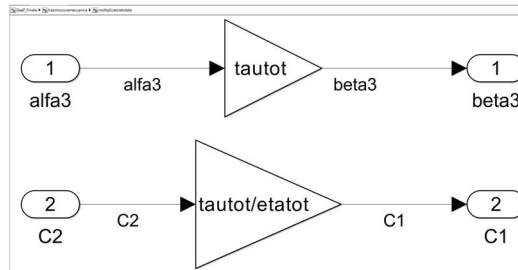


**Figura 128-Esempi della variazione della potenza muscolare ( $P_{gambe}$ ) nel tempo**

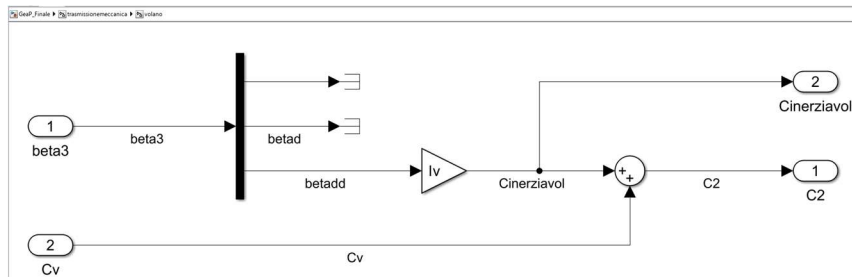
Bisogna inoltre ribadire (tabella 2) che la modellazione di tutti gli elementi costitutivi della trasmissione meccanica verrà di seguito effettuata senza introdurre particolari semplificazioni, sebbene si sia sicuramente stabilito di non trascurare le dissipazioni provocate dagli attriti ( $\eta_{tot}$ ), per il semplice fatto che seppure le soluzioni selezionate per concretizzare i diversi meccanismi sono in grado di garantire dei rendimenti molto elevati, prossimi all'unità (99%), è comunque più corretto considerarne i probabili contributi durante i calcoli.



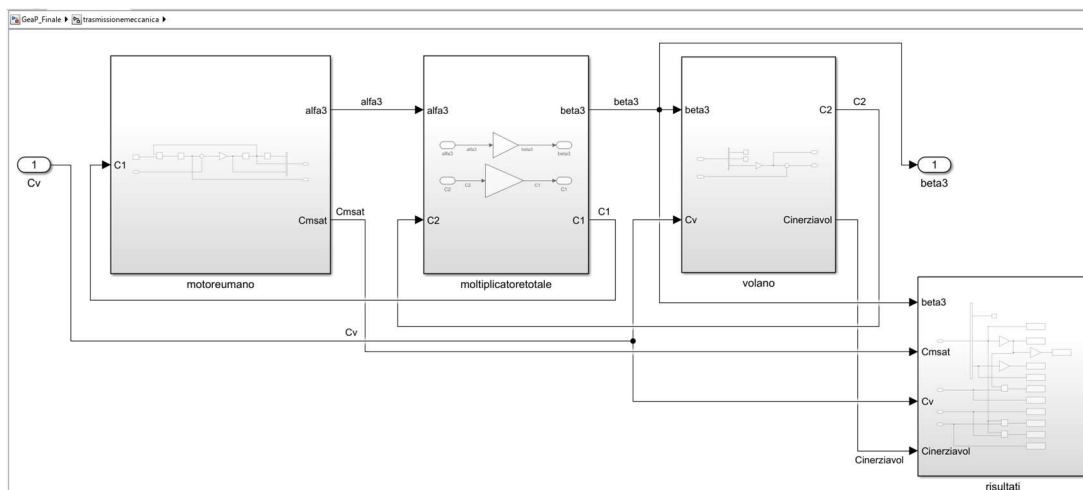
**Figura 129-Modello Simulink del motore umano**



**Figura 130-Modello Simulink del moltiplicatore di velocità totale**



**Figura 131-Modello Simulink del volano**



**Figura 132-Modello Simulink della trasmissione meccanica**

#### 6.2.4.2-Generatore Elettrico

Tutte le costanti ( $k_c$ ,  $k_e$  e  $b$ ) che sono state individuate durante lo studio dinamico del generatore elettrico, così come l'induttanza ( $L_G$ ), la resistenza ( $R_G$ ) e il momento d'inerzia ( $I_G$ ) del rotore, sono delle informazioni, o meglio dei dati di progettazione, assolutamente necessarie durante la modellazione del diagramma a blocchi su Simulink, che andranno trovate sulla tabella tecnica fornita insieme al motore selezionato per la costruzione del generatore elettrico a pedali.

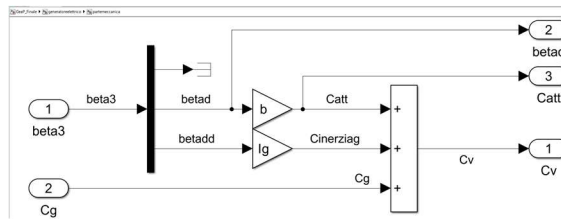


Figura 133-Modello Simulink della trasmissione meccanica

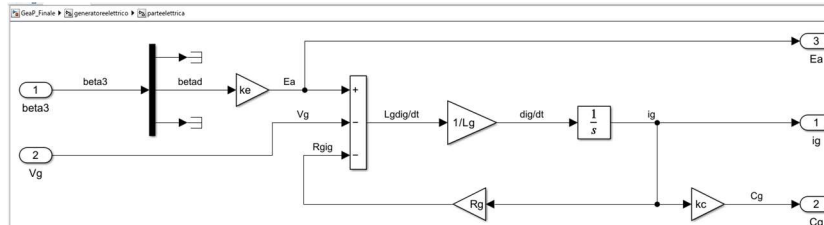


Figura 134-Modello Simulink del circuito elettrico

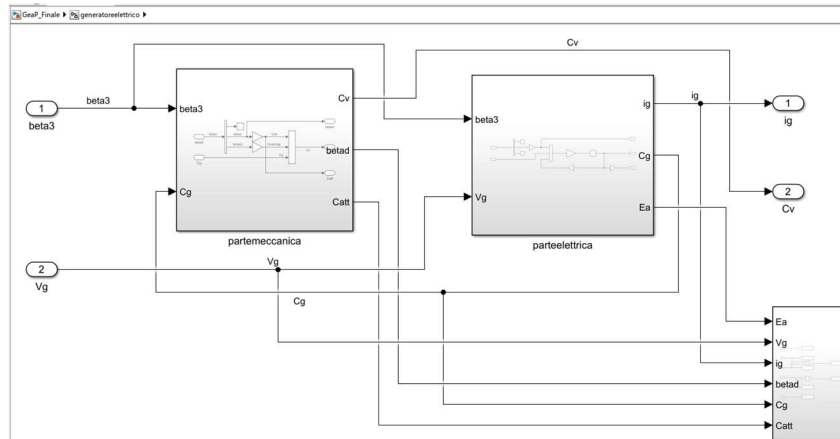
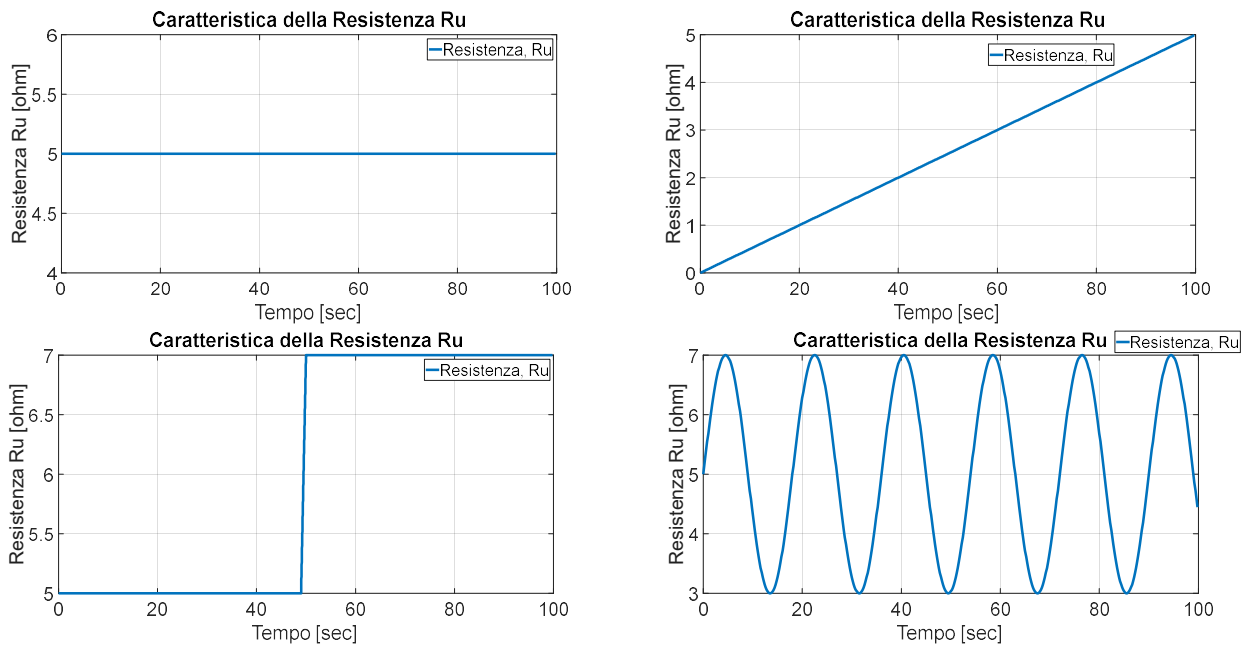


Figura 135-Modello Simulink completo del generatore elettrico

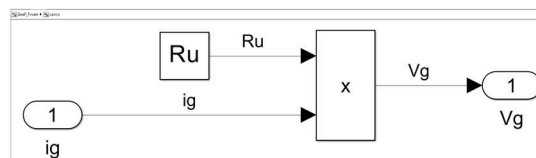
#### 6.2.4.3-Circuito Elettrico e Uscita

L'ultima questione da esaminare, quella relativa a cosa può essere schematizzato ed inserito nel modello Simulink del circuito elettrico (e del carico), è al centro dello studio del seguente capitolo: sulla base delle informazioni realmente importanti ed utili, è stato necessario prendere alcune decisioni che, tuttavia, potrebbero risultare abbastanza approssimative rispetto ad un'analisi più attenta e dettagliata. Infatti il reale obiettivo non è tentare di concretizzare una schematizzazione perfetta, esplorata nei minimi dettagli, ma provare unicamente ad ottenere, anche se soltanto in modo approssimativo, quale possa essere il comportamento del dispositivo a seconda delle scelte progettuali adottate. Proprio a valle di queste considerazioni per il tipo di trattazione che verrà svolta allora è naturale concludere che il comportamento mostrato durante le fasi di lavoro dai diversi componenti sia di fatto comparabile complessivamente ad una semplice resistenza equivalente ( $R_U$ ). Dunque, sebbene la modellazione del circuito elettrico sia estremamente importante e cruciale per ottenere effettivamente tutte le informazioni più interessanti, al tempo stesso è sufficiente che riesca ad esporre essenzialmente l'andamento delle tensioni e delle correnti, quindi delle potenze, che viene assorbita o è possibile garantire all'apparecchiatura adottata. Il corretto completamento della schematizzazione del circuito elettrico richiede comunque alcuni dati di progettazione che devono essere dichiarati fin dall'inizio: conoscere il comportamento della resistenza equivalente  $R_U$  è di fatto essenziale per descrivere l'andamento dell'energia richiesta dal carico durante le simulazioni da eseguite e come per la  $P_{gambe}$  verranno selezionate delle quantità e delle caratteristiche che identificano, presumibilmente, il funzionamento ottimale dei comuni dispositivi elettronici (figura 136).



**Figura 136-Esempi del comportamento della resistenza equivalente ( $R_U$ ) nel tempo**

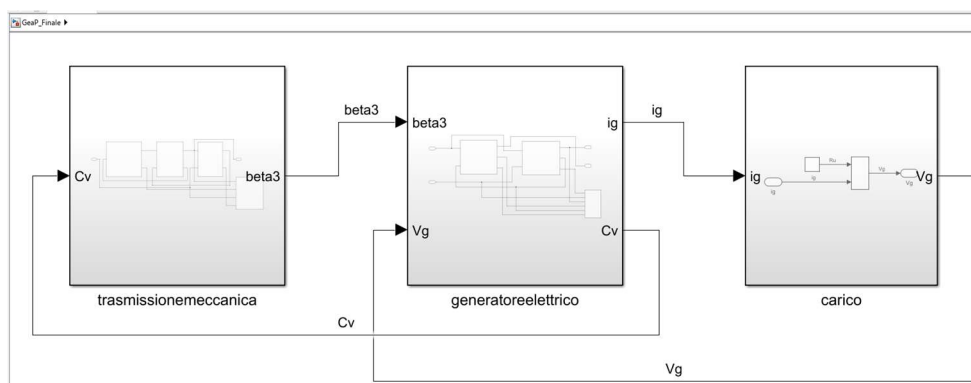
Dal momento che a valle del super-condensatore la potenza prodotta dal generatore si biforca, poiché si devono alimentare contemporaneamente sia le prese USB che la postazione multimediale, allora risulta essere decisamente più conveniente modellare il contributo dell'intero circuito elettrico e del carico, in altre parole il diodo, il super-condensatore, i convertitori DC-DC, l'inverter ed il resto della componentistica secondaria, come un unico apparato (figura 137) che pretenderà una quantità di energia leggermente superiore rispetto al valore domandato dal solo carico; proprio per tenere in conto delle perdite introdotte da tutti questi elementi.



**Figura 137-Modello Simulink del circuito elettrico e del carico**


#### 6.2.4.4-Modello Completo

L'ultimo passaggio, prima di procedere e svolgere alcune simulazioni così da riuscire ad osservare ed analizzare i risultati sul comportamento del macchinario completo, consiste proprio nell'unire in un unico modello tutti i sottosistemi finora realizzati, ovvero il carico, il generatore elettrico e la trasmissione meccanica (figura 138).



**Figura 138-Modello Simulink del generatore elettrico a pedali**

Prima ancora però di poter eseguire realmente una qualsiasi prova occorre definire ogni singolo valore relativo alle diverse costanti ( $k_c, k_e, b, L_G, R_G, I_G, I_V, I_M, \tau_{tot}, \eta_{tot}$ ) inserite nella schematizzazione a blocchi appena costruita, senza i quali Simulink non sarebbe in grado di completare alcun calcolo. A questo punto è obbligatorio stabilire (quantitativamente) i valori di partenza dei vari parametri, assumendo, ad esempio, una media delle quantità che normalmente corrispondono alla tipologia e alla taglia delle apparecchiature e dei meccanismi affrontati precedentemente. Infatti proprio tramite queste analisi si andranno ad identificare i prodotti commerciali più appropriati (e facilmente reperibili sul mercato). I valori così ricavati vanno considerati solamente come indicativi ed ipotetici, per niente assoluti, dato che non sono necessariamente quelli specifici dei componenti che verranno successivamente applicati per far parte del prototipo finale. Tuttavia la maggior parte di queste costanti dipende fortemente dalle proprietà del generatore in uso nel sistema, perciò in via del tutto preliminare è indispensabile identificare un modello di motore elettrico (tabella 3), affinché si possano svolgere tutte le simulazioni; malgrado la natura provvisoria probabilmente sarà comunque quello definitivo.

Modello MY1016 [Spazzole, CC, Magneti Permanenti]		Parametri	Simboli	Valori	Unità di Misura
	Tensione Nominale		$V_{G,nom}$	36	V
	Corrente Nominale		$i_{g,nom}$	12,5	A
	Velocità Senza Carico		$n_{NoLoad}$	3450	rpm
	Potenza Massima		$P_{G,max}$	350	W

**Tabella 3-Scheda tecnica del modello del motore elettrico scelto (CNCEST) per le simulazioni**

Ricordando poi che si desidera garantire una tensione in uscita ( $V_{G,min}$ ) di circa 17 V, allora è immediatamente possibile calcolare grazie all'equazione presentata nel paragrafo 6.1.1 la velocità di rotazione minima del rotore ( $n_{G,min}$ ) da soddisfare: il risultato si attesta attorno ai 1630 giri al minuto. Ad ogni modo nella tabella 4 presentata di seguito vengono riportate le grandezze che sono state raccolte in questo modo ai fini dello studio.

Costanti	Simboli	Valore	Unità di Misura	Note
Costante di tensione	$k_e$	0,1	$\frac{V}{rad/s}$	
Costante di coppia	$k_c$	0,1	$\frac{Nm}{A}$	
Costante di attrito viscoso	$b$	0,0001	Nms	
Induttanza del generatore	$L_G$	0,5	H	
Resistenza del generatore	$R_G$	1	$\Omega$	
Momento d'inerzia del generatore	$I_G$	0,001	$kgm^2$	
Momento d'inerzia del motore-umano	$I_M$	0,001	$kgm^2$	
Rapporto di trasmissione del moltiplicatore di velocità totale	$\tau_{tot}$	27,2		$\tau_{tot} = \frac{n_{G,min}}{n_{gambe,min}} = \frac{1630}{60}$
Rendimento del moltiplicatore di velocità totale	$\eta_{tot}$	0,97		Si valuta un meccanismo composto da tre tiri di catena (perdite massime ammissibili), ognuno con rendimento $\eta_i = 0,99$

**Tabella 4-Valori delle costanti utilizzati nelle simulazioni su Simulink**



#### 6.2.4.5-Script (Matlab)

Per poter inserire i dati all'interno del modello realizzato su Simulink, ma anche per visionare i risultati dei calcoli da esso eseguiti, è indispensabile scrivere un algoritmo su Matlab. Quindi per completezza nei paragrafi successivi verrà riportato il testo di questi due programmi (o script).

##### -DATI IN INGRESSO

Il test del programma sviluppato per introdurre nel modello realizzato su Simulink i dati richiesti dalle simulazioni, senza i quali non sarebbe stato in grado di svolgere correttamente i calcoli:

```
close all
%%Choice Simulation Type
iteorico = 1; %Theoretical Case
ireale = 0; %2-Case 2 Chain; 3-Case 3 Chain
%%Choice Input Signal of Pgambe-Ru-Iv-VGmin-Nx
iplot = 0; %0-No Plot; 1-Plot
iPg = 1; %Test 1-2-3-4
iRu = 1; %Test 1-2-3-4
iIv = 3; %Values 1-6, Optimal = 3
VGmin = 17; %[V]
N1 = 54; %Teeth Number Chainring/Sprocket 1
N2 = 11; %Teeth Number Chainring/Sprocket 2
N3 = 54; %Teeth Number Chainring/Sprocket 3
N4 = 11; %Teeth Number Chainring/Sprocket 4
N5 = 1; %Teeth Number Chainring/Sprocket 5
N6 = 1; %Teeth Number Chainring/Sprocket 6
%%Other
radsrpm = 60/(2*pi); %[rad/s->rpm]
ngambemin = 60; %[rpm]
%%Moment of Inertia
Im = 0.001; %[kg.m^2]
Ig = 0.001; %[kg.m^2]
%%Electric Motor/Generator Costant
k = 0.100;
ke = k; %[V/rad/sec]
kc = k; %[N.m/Amp]
b = 0.0001; %[N.m.s]
Rg = 1; %[Ohm]
Lg = 0.5; %[H]
VGnom = 36; %[V]
nNoLoad = 3450; %[rpm]
%%Transmission Ratio
tau1 = N1/N2;
tau2 = N3/N4;
tau3 = N5/N6;
%%Mechanical Efficiency
eta1 = 0.99;
eta2 = 0.99;
eta3 = 0.99;
if iteorico == 1
    ireale = 0;
    tautot=((nNoLoad/VGnom)*VGmin)/ngambemin;
    etatot = eta1*eta2*eta3;
else
    if ireale == 2
        tautot=tau1*tau2;
```

```

        etatot = eta1*eta2;
elseif ireale == 3
        tautot=tau1*tau2*tau3;
        etatot = eta1*eta2*eta3;
end
end
%%Input Signal Pgambe
if iPg == 1
    inttempoPg = 0.2;
    numintPg = 500;
    tempoPg = inttempoPg*(0:numintPg-1);
    tempoPg = tempoPg';
    iPg=70;
    Pgdati = iPg*ones(numintPg,1);
    Pgdati = Pgdati';
    Pg = timeseries(Pgdati,tempoPg); %[W]
elseif iPg == 2
    Pgcost = 40;
    inttempoPg = 0.2;
    numintPg = 500;
    tempoPg = inttempoPg*(0:numintPg-1);
    tempoPg = tempoPg';
    Pgint=0.2;
    Pgdati = Pgcost+Pgint*(0:numintPg-1);
    Pg = timeseries(Pgdati,tempoPg); %[W]
elseif iPg == 3
    tPg = 5;
    numintPg = 100;
    inttempoPg = [0 20 49 50 80];
    intPg = [0 0 70 0 0];
    tempointPg = [0.2 0.29 0.01 0.3 0.2];
    Pgint = [0 0 0.2 0 0];
    tempodatiPg = zeros(numintPg,tPg);
    datipg = zeros(numintPg,tPg);
    for jPg = 1:tPg
        if jPg == 1
            iPg = 70;
            Pgdatij = iPg*ones(numintPg,1);
            datipg(:,jPg) = Pgdatij';
            tempojPg = inttempoPg(1,jPg)+tempointPg(1,jPg)*(0:numintPg-1);
            tempodatiPg(:,jPg) = tempojPg';
        elseif jPg == 2
            iPg = 70;
            Pgdatij = iPg*ones(numintPg,1);
            datipg(:,jPg) = Pgdatij';
            tempojPg = inttempoPg(1,jPg)+tempointPg(1,jPg)*(0:numintPg-1);
            tempodatiPg(:,jPg) = tempojPg';
        elseif jPg == 3
            Pgdatij = intPg(1,jPg)+Pgint(1,jPg)*(0:numintPg-1);
            datipg(:,jPg) = Pgdatij';
            tempojPg = inttempoPg(1,jPg)+tempointPg(1,jPg)*(0:numintPg-1);
            tempodatiPg(:,jPg) = tempojPg';
        elseif jPg == 4
            iPg = 90;
            Pgdatij = iPg*ones(numintPg,1);

```

```

        datiPg(:,jPg) = Pgdatij';
        tempojPg = inttempoPg(1,jPg)+tempointPg(1,jPg)*(0:numintPg-1);
        tempodatiPg(:,jPg) = tempojPg';
    else
        iPg = 90;
        Pgdatij = iPg*ones(numintPg,1);
        datiPg(:,jPg) = Pgdatij';
        tempojPg = inttempoPg(1,jPg)+tempointPg(1,jPg)*(0:numintPg-1);
        tempodatiPg(:,jPg) = tempojPg';
    end
end
Pgdati = reshape(datiPg,[],1);
tempoPg = reshape(tempodatiPg,[],1);
Pg = timeseries(Pgdati,tempoPg); %[W]
else
    Pgcost = 70;
    Pgprec = 10;
    inttempoPg = 0.2;
    numintPg = 500;
    tempoPg = inttempoPg*(0:numintPg-1);
    tempoPg = tempoPg';
    Pgdati = Pgcost+Pgprec*sin(2*pi/18*tempoPg);
    Pg = timeseries(Pgdati,tempoPg); %[W]
end
%%Input Signal Ru
if iRu == 1
    inttempoRu = 0.2;
    numintRu = 500;
    tempoRu = inttempoRu*(0:numintRu-1);
    tempoRu = tempoRu';
    iRu=5;
    Rudati = iRu*ones(numintRu,1);
    Rudati = Rudati';
    Ru = timeseries(Rudati,tempoRu); %[Ohm]
elseif iRu == 2
    inttempoRu = 0.2;
    numintRu = 500;
    tempoRu = inttempoRu*(0:numintRu-1);
    tempoRu = tempoRu';
    Ruint=0.01;
    Rudati = Ruint*(0:numintRu-1);
    Ru = timeseries(Rudati,tempoRu); %[Ohm]
elseif iRu == 3
    tRu = 5;
    numintRu = 100;
    inttempoRu = [0 20 49 50 80];
    intRu = [0 0 5 0 0];
    tempointRu = [0.2 0.29 0.01 0.3 0.2];
    Ruint = [0 0 0.02 0 0];
    tempodatiRu = zeros(numintRu,tRu);
    datiRu = zeros(numintRu,tRu);
    for jRu = 1:tRu
        if jRu == 1
            iRu = 5;
            Rudatij = iRu*ones(numintRu,1);

```

```

    datiRu(:,jRu) = Rudatij';
    tempoj = inttempoRu(1,jRu)+tempointRu(1,jRu)*(0:numintRu-1);
    tempodatiRu(:,jRu) = tempoj';
elseif jRu == 2
    iRu = 5;
    Rudatij = iRu*ones(numintRu,1);
    datiRu(:,jRu) = Rudatij';
    tempoj = inttempoRu(1,jRu)+tempointRu(1,jRu)*(0:numintRu-1);
    tempodatiRu(:,jRu) = tempoj';
elseif jRu == 3
    Rudatij = intRu(1,jRu)+Ruint(1,jRu)*(0:numintRu-1);
    datiRu(:,jRu) = Rudatij';
    tempoj = inttempoRu(1,jRu)+tempointRu(1,jRu)*(0:numintRu-1);
    tempodatiRu(:,jRu) = tempoj';
elseif jRu == 4
    iRu = 7;
    Rudatij = iRu*ones(numintRu,1);
    datiRu(:,jRu) = Rudatij';
    tempoj = inttempoRu(1,jRu)+tempointRu(1,jRu)*(0:numintRu-1);
    tempodatiRu(:,jRu) = tempoj';
else
    iRu = 7;
    Rudatij = iRu*ones(numintRu,1);
    datiRu(:,jRu) = Rudatij';
    tempoj = inttempoRu(1,jRu)+tempointRu(1,jRu)*(0:numintRu-1);
    tempodatiRu(:,jRu) = tempoj';
end
end
Rudati = reshape(datiRu,[],1);
tempoRu = reshape(tempodatiRu,[],1);
Ru = timeseries(Rudati,tempoRu); %[Ohm]
else
    Rucost = 5;
    Ruprec = 2;
    inttempoRu = 0.2;
    numintRu = 500;
    tempoRu = inttempoRu*(0:numintRu-1);
    tempoRu = tempoRu';
    Rudati = Rucost+Ruprec*sin(2*pi/18*tempoRu);
    Ru = timeseries(Rudati,tempoRu); %[Ohm]
end
if iplot == 0
    zIv = 0;
elseif iplot == 1
    figure
    subplot(2,1,1)
    plot(Pg,'LineWidth',4),grid
    xlabel('Tempo [sec]')
    ylabel('Potenza [W]')
    legend('Potenza Gambe, Pg')
    title('Caratteristica della Potenza Pgambe')
    set(gca,'FontSize',22)
    subplot(2,1,2)
    plot(Ru,'LineWidth',4),grid
    xlabel('Tempo [sec]')

```

```

ylabel('Resistenza Ru [ohm]')
legend('Resistenza, Ru')
title('Caratteristica della Resistenza Ru')
set(gca,'FontSize',22)
elseif iplot == 2
figure
plot(Pg,'LineWidth',6),grid
xlabel('Tempo [sec]')
ylabel('Potenza [W]')
legend('Potenza Gambe, Pg')
title('Caratteristica della Potenza Pgambe')
set(gca,'FontSize',40)
else
figure
plot(Ru,'LineWidth',6),grid
xlabel('Tempo [sec]')
ylabel('Resistenza Ru [ohm]')
legend('Resistenza, Ru')
title('Caratteristica della Resistenza Ru')
set(gca,'FontSize',40)
end

```

```
%%Flywheel Type
```

```

if iIv == 1
Iv = 0; %[kg.m^2] rv = 0 [m]
jIv = 1;
elseif iIv == 2
Iv = 0.00405; %[kg.m^2] rv = 0.1 [m]
jIv = 2;
elseif iIv == 3
Iv = 0.0648; %[kg.m^2] rv = 0.2 [m]
jIv = 3;
elseif iIv == 4
Iv = 0.328; %[kg.m^2] rv = 0.3 [m]
jIv = 4;
elseif iIv == 5
Iv = 1.04; %[kg.m^2] rv = 0.4 [m]
jIv = 5;
else
Iv = 2.53; %[kg.m^2] rv = 0.5 [m]
jIv = 6;
end

```

```
-PLOTTAGGIO DEI RISULTATI
```

Il testo dell'algorithm adoperato per la lettura dei risultati calcolati attraverso il modello realizzato su Simulink:

```

close all
%%Evaluation of Iv
zIv = 0;
if zIv == 0
%%Simulation Results Graphs
figure
subplot(1,2,1)
plot(out.Pgambe,'LineWidth',4),grid
hold on
plot(out.Pgin,'LineWidth',4)

```

```

plot(out.Pcarico,'LineWidth',4)
xlabel('Tempo [sec]')
ylabel('Potenza [W]')
legend('Potenza Gambe (Ingresso)', 'Potenza Ingresso Generatore', 'Potenza
Uscita Generatore')
title('Caratteristiche delle Potenze')
set(gca,'FontSize',22)
hold off
subplot(1,2,2)
plot(out.ngambe,'LineWidth',4),grid
xlabel('Tempo [sec]')
ylabel('Velocità [rpm]')
legend('ngambe')
title('Caratteristica della Velocità delle Gambe')
set(gca,'FontSize',22)
%%%
figure
subplot(1,2,1)
plot(out.Vg,'LineWidth',4),grid
hold on
plot(out.Ea,'LineWidth',4)
xlabel('Tempo [sec]')
ylabel('Tensione [V]')
legend('Vg', 'Ea')
title('Caratteristiche delle Tensioni')
set(gca,'FontSize',22)
hold off
subplot(1,2,2)
plot(out.ig,'LineWidth',4),grid
xlabel('Tempo [sec]')
ylabel('Corrente [A]')
legend('ig')
title('Caratteristica della Corrente')
set(gca,'FontSize',22)
%%%
figure
subplot(1,2,1)
plot(out.alfad,'LineWidth',4),grid
hold on
plot(out.betad,'LineWidth',4)
xlabel('Tempo [sec]')
ylabel('Velocità [rad/s]')
legend('Alfad', 'Betad')
title('Caratteristiche delle Velocità Angolari')
set(gca,'FontSize',22)
hold off
subplot(1,2,2)
plot(out.alfadd,'LineWidth',4),grid
hold on
plot(out.betadd,'LineWidth',4)
xlabel('Tempo [sec]')
ylabel('Accelerazione [rad/s^2]')
legend('Alfadd', 'Betadd')
title('Caratteristiche delle Accelerazioni Angolari')
set(gca,'FontSize',22)

```

```

hold off
%%%
figure
subplot(1,2,1)
plot(out.Cmsat, 'LineWidth',4),grid
xlabel('Tempo [sec]')
ylabel('Coppia [Nm]')
legend('Cm')
title('Caratteristiche della Coppia in Ingresso')
set(gca, 'FontSize',22)
subplot(1,2,2)
plot(out.Cv, 'LineWidth',4),grid
hold on
plot(out.Cg, 'LineWidth',4)
plot(out.Catt, 'LineWidth',4)
xlabel('Tempo [sec]')
ylabel('Coppia [Nm]')
legend('Cv', 'Cg', 'Catt')
title('Caratteristiche delle altre Coppie')
set(gca, 'FontSize',22)
hold off
%%Evaluation Algorithm Iv
if jIv == 1
    Pgambe1 = out.Pgambe;
    Pingen1 = out.Pgin;
    Poutgen1 = out.Pcarico;
    Vg1 = out.Vg;
    ig1 = out.ig;
elseif jIv == 2
    Pingen2 = out.Pgin;
    Poutgen2 = out.Pcarico;
    Vg2 = out.Vg;
    ig2 = out.ig;
elseif jIv == 3
    Pingen3 = out.Pgin;
    Poutgen3 = out.Pcarico;
    Vg3 = out.Vg;
    ig3 = out.ig;
elseif jIv == 4
    Pingen4 = out.Pgin;
    Poutgen4 = out.Pcarico;
    Vg4 = out.Vg;
    ig4 = out.ig;
elseif jIv == 5
    Pingen5 = out.Pgin;
    Poutgen5 = out.Pcarico;
    Vg5 = out.Vg;
    ig5 = out.ig;
else
    Pingen6 = out.Pgin;
    Poutgen6 = out.Pcarico;
    Vg6 = out.Vg;
    ig6 = out.ig;
end
else

```

```

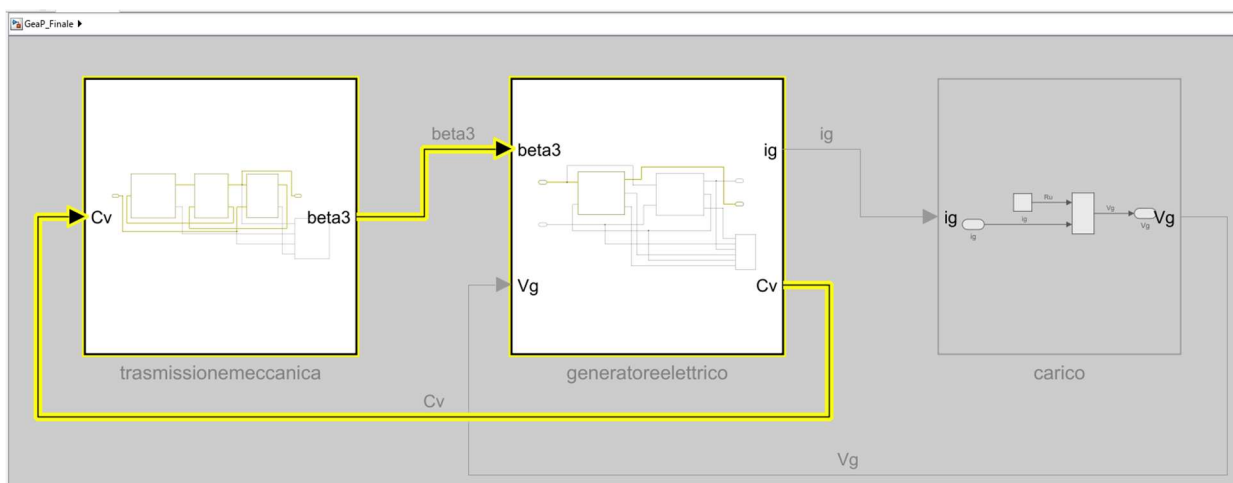
figure
    plot(Pgambe1, 'LineWidth',4),grid
hold on
plot(Poutgen1, 'LineWidth',4)
plot(Poutgen2, 'LineWidth',4)
plot(Poutgen3, 'LineWidth',4)
plot(Poutgen4, 'LineWidth',4)
plot(Poutgen5, 'LineWidth',4)
plot(Poutgen6, 'LineWidth',4)
xlabel('Tempo [sec]')
ylabel('Potenza [W]')
legend('Pgambe', 'Pcarico, rv=0 m', 'Pcarico, rv=0.1 m', 'Pcarico, rv=0.2
m', 'Pcarico, rv=0.3 m', 'Pcarico, rv=0.4 m', 'Pcarico, rv=0.5 m')
title('Caratteristiche della Potenza Assorbita dal Carico al Variare di
Iv')
set(gca, 'FontSize',22)
hold off
figure
subplot(1,2,1)
plot(Vg1, 'LineWidth',4),grid
hold on
plot(Vg2, 'LineWidth',4)
plot(Vg3, 'LineWidth',4)
plot(Vg4, 'LineWidth',4)
plot(Vg5, 'LineWidth',4)
plot(Vg6, 'LineWidth',4)
xlabel('Tempo [sec]')
ylabel('Tensione [V]')
legend('Vg, rv=0 m', 'Vg, rv=0.1 m', 'Vg, rv=0.2 m', 'Vg, rv=0.3 m', 'Vg,
rv=0.4 m', 'Vg, rv=0.5 m')
title('Caratteristiche della Tensione Vg al Variare di Iv')
set(gca, 'FontSize',22)
hold off
subplot(1,2,2)
plot(ig1, 'LineWidth',4),grid
hold on
plot(ig2, 'LineWidth',4)
plot(ig3, 'LineWidth',4)
plot(ig4, 'LineWidth',4)
plot(ig5, 'LineWidth',4)
plot(ig6, 'LineWidth',4)
xlabel('Tempo [sec]')
ylabel('Potenza [W]')
legend('ig, rv=0 m', 'ig, rv=0.1 m', 'ig, rv=0.2 m', 'ig, rv=0.3 m', 'ig,
rv=0.4 m', 'ig, rv=0.5 m')
title('Caratteristiche delle Potenze')
set(gca, 'FontSize',22)
hold off
end

```



## 6.3-Simulazioni e Risultati

L'attività che deve essere conclusa prima ancora di eseguire concretamente le simulazioni desiderate, consiste in un controllo preliminare atto a verificare la validità e l'effettivo funzionamento del modello realizzato su Simulink. Può essere utile specificare che in questa fase introduttiva non viene preteso l'inserimento dei valori delle costanti definiti in precedenza, che quindi possono essere scelti in modo del tutto arbitrario, poiché di fatto si richiede solamente di riuscire ad appurare che sia possibile ottenere dei risultati e non anche la loro bontà. Per questa ragione dopo aver avviato questa indagine iniziale dell'intero sistema è emerso che la modellazione eseguita su Simulink si verifica, durante la sua elaborazione, un loop algebrico che coinvolge la misurazione delle grandezze cinematiche e delle coppie agenti sui singoli componenti (figura 139). Tuttavia, sebbene l'insorgere di questo ostacolo causi un dispendio maggiore di tempo e risorse al calcolatore durante l'esecuzione del programma che riproduce il dispositivo, ciò potenzialmente non gli impedisce di elaborare dei risultati che possono essere ugualmente validi e corretti.



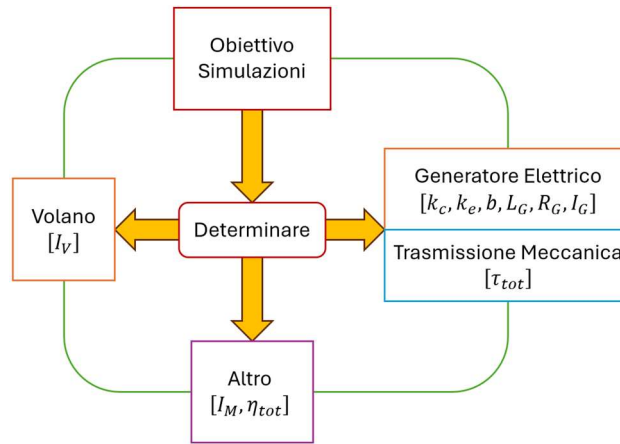
**Figura 139-Loop algebrico rilevato nel modello costruito su Simulink**

Terminato questo accertamento relativo all'esatto funzionamento del modello costruito su Simulink del generatore elettrico a pedali, si può allora procedere con l'effettiva valutazione dei risultati ottenuti attraverso le varie prove. Osservando però le possibili condizioni lavorative proposte, quattro per la  $P_{gambe}$  e altrettante per la  $R_U$ , si ottengono un totale di sedici differenti casistiche operative da esaminare ciascuna singolarmente. Eppure risulterebbe abbastanza infruttuoso e dispendioso in termini di tempo studiarle tutte, mentre è molto più utile selezionare e concentrarsi soltanto sull'indagine di quelle situazioni che si verificano con una maggiore probabilità, ed evitare le altre: vale a dire i casi dove  $P_{gambe}$  viene mantenuta costante mentre  $R_U$  viene fatta variare, o il viceversa. Ciò detto, comunque, per ognuna delle simulazioni che verranno condotte si osserverà l'andamento delle potenze ( $P_{carico}$ ,  $P_{in,gen}$ ), della velocità di rotazione richiesta alle gambe ( $n_{gambe}$ ), delle tensioni ( $V_G$ ,  $E_A$ ) e della corrente ( $i_g$ ); cosicché sia possibile descrivere il comportamento del macchinario in modo efficace.

### 6.3.1-Obiettivo delle Simulazioni

Prima di procedere però è opportuno sottolineare che ogni singola analisi affrontata può a sua volta essere modificata variando a piacimento, ma con un certo criterio, le costanti presentate nel paragrafo precedente. Tuttavia un più attento controllo dimostra che l'unico vero grado di libertà che può essere realmente manipolato è solamente quello legato al volano ( $I_V$ ). Infatti molte di queste grandezze sono strettamente vincolate dalla tipologia e dalla marca di motore-generatore elettrico selezionato ( $k_c$ ,  $k_e$ ,  $b$ ,  $L_G$ ,  $R_G$ ,  $I_G$ ,  $\tau_{tot}$ ), mentre la variazione degli altri risulta sostanzialmente irrisoria e poco utile ( $I_M$ ), oppure la quantità determinata è già quella ottimale ( $\eta_{tot}$ ). Perciò il vero scopo dei calcoli sarà

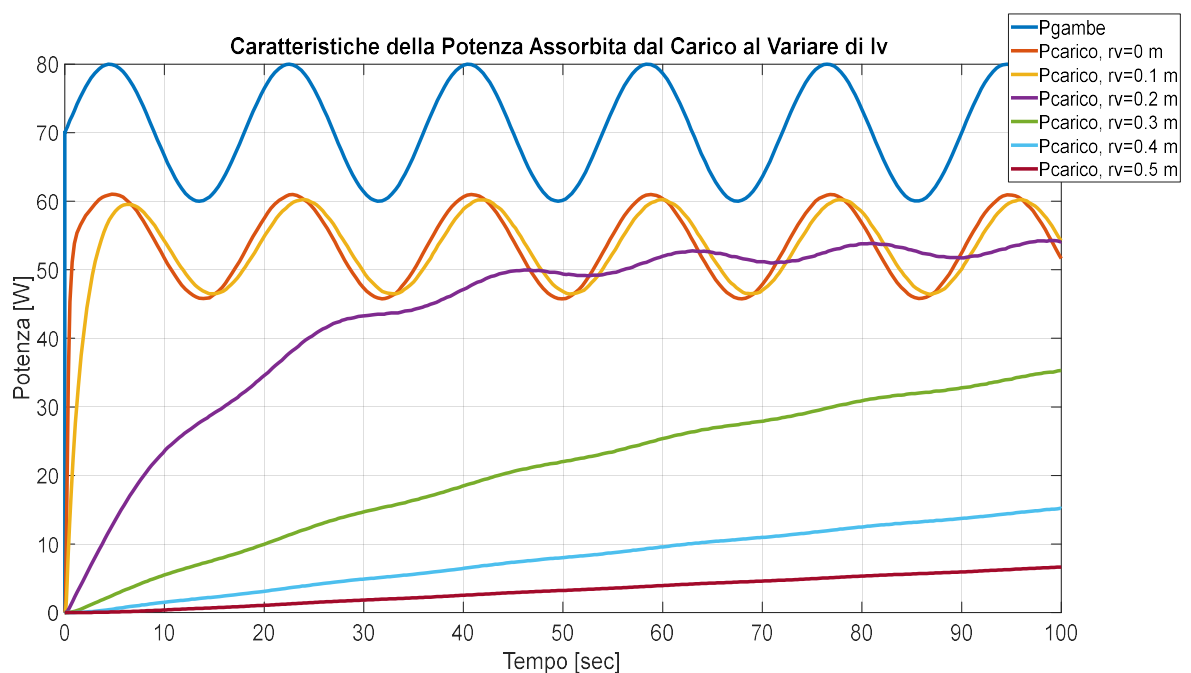
quello di identificare, oltre ad  $I_V$ , anche i parametri legati al generatore elettrico e, di conseguenza, alla trasmissione meccanica, o eventualmente semplicemente convalidare quelli fissati inizialmente, così da riuscire a fissare tutti i dettagli per la selezione finale dei diversi componenti che costituiranno l'intera apparecchiatura (figura 140). Mentre eventuali modifiche del modello, dopo aver scelto il motore elettrico, potranno coinvolgere solamente le dimensioni, ed eventualmente il materiale, del volano.



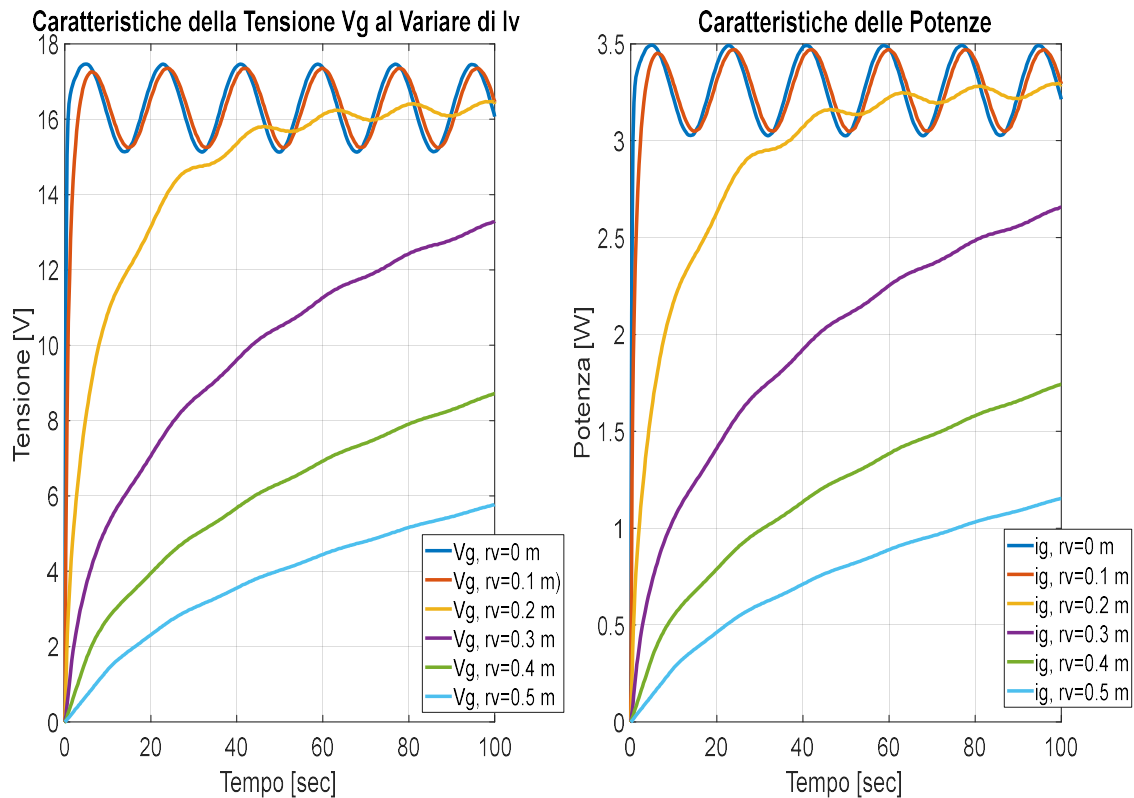
**Figura 140-Schema esplicativo della finalità delle simulazioni**

### 6.3.2-Variatione delle Dimensioni del Volano

Il volano è il primo elemento dell'intero sistema che deve essere valutato e per comprenderne appieno il guadagno che può assicurare alle prestazioni, allora è opportuno esaminare il comportamento del dispositivo al variare delle dimensioni di quest'ultimo. Si assumerà un disco in legno di abete con uno spessore massimo ( $h_V$ ) di 0,03 m, mentre il raggio ( $r_V$ ) verrà fatto variare, partendo dalla condizione senza volano ( $r_V = 0$ ) fino ad arrivare alla soluzione avente un raggio di 0,5 metri. In questa occasione però verrà approfondito solamente il caso che permetterà di osservare più concretamente ed efficacemente l'apporto fornito dal volano, vale a dire quando si introduce una potenza  $P_{gambe}$  che segue una caratteristica armonica e una resistenza equivalente  $R_U$  costante; dal momento che le stesse considerazioni restano comunque valide anche per le altre simulazioni.



**Figura 141-Caratteristiche della potenza  $P_{carico}$  al variare delle dimensioni (raggio,  $r_V$ ) del volano**



**Figura 142-Caratteristiche della tensione (Sinistra) e della corrente (Destra) al variare delle dimensioni (raggio,  $r_V$ ) del volano**

Il primo aspetto che salta subito all'occhio (figura 141) è la mancanza del transitorio nelle prime due prove (con  $r_V$  pari rispettivamente a 0 e 0,1 metri), mentre inizia ad essere visibile da quella con un disco di raggio 0,2 metri, diventando l'aspetto predominante in quelle successive. Segue la direzione completamente opposta invece l'influenza armonica del segnale d'ingresso ( $P_{gambe}$ ) su quello d'uscita ( $P_{carico}$ ), ossia partendo dal volano con raggio di 0,5 metri fino ad arrivare a  $r_V$  nullo, è possibile notare sempre più distintamente l'andamento sinusoidale della caratteristiche ottenute. In aggiunta quest'ultimo discorso può essere applicato alla tensione ( $V_G$ ) e alla corrente ( $i_g$ ), dato il loro stretto legame con la potenza assorbita dal carico ( $P_{carico}$ ), come si può constatare nella figura 142. Questa irregolarità che caratterizza le curve appena analizzate potrebbe nuocere ad alcune tipologie di dispositivi elettronici che vengono collegati al generatore a pedali. Per queste ragioni l'utilità del volano viene ampiamente dimostrata, andando a chiarire inequivocabilmente quanto sia indispensabile in questo progetto ed in qualsiasi applicazione simile. Sebbene, però, non sia consigliato eccedere un determinato ingombro, poiché ciò potrebbe provocare un intervallo di accelerazione del volano eccessivamente ampio e non trascurabile.

### 6.3.3-Scenari con $P_{gambe}$ Costante ed $R_U$ Variabile

La trattazione dovrà essere suddivisa in quattro sottogruppi, ciascuno dei quali affronterà un diverso andamento di  $R_U$ .

#### 6.3.3.1- $R_U$ Costante

Questa condizione di lavoro è idealmente quella che si desidera realizzare durante tutte le occasioni in cui verrà adoperato il macchinario. Facendo riferimento alle curve di figura 143 si possono esaminare tutti i principali parametri che, a partire dall'alto a sinistra per finire in basso a destra, descrivono rispettivamente le caratteristiche delle potenze, delle velocità e delle accelerazioni, delle coppie, delle tensioni e della corrente complessivamente coinvolte durante il periodo, cento secondi, in cui è stata condotta la prova. Osservando attentamente questi andamenti si può notare immediatamente una iniziale fase di transitorio, causata sicuramente dalla taglia del volano che è stato adottato, che termina dopo circa i primi 50 secondi, dopo la quale si ha un andamento stabile e costante, esattamente come dovrebbe accadere in questa specifica simulazione. Un'altra importante constatazione che permette di convalidare ulteriormente il modello realizzato su Simulink consiste nell'aver ottenuto che la potenza estraibile ( $P_{carico}$ ) è minore, ovviamente, di quella che viene prodotta dall'operatore ( $P_{gambe}$ ). Inoltre la velocità di rotazione raggiunta dalle gambe ( $n_{gambe}$ ) è compresa tra i 70 e gli 80 giri al minuto, un valore che rientra nell'intervallo ottimale di una persona adulta media.

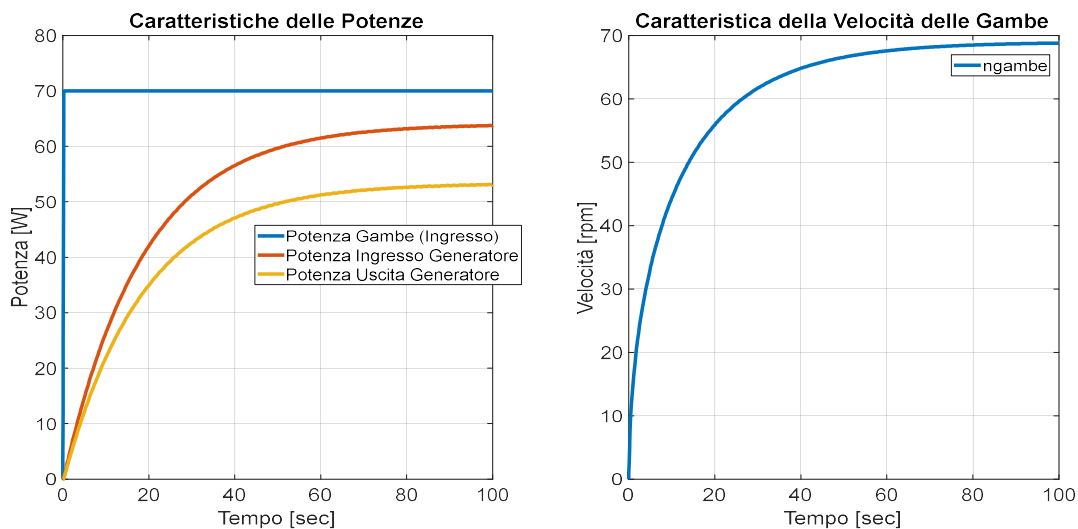


Figura 143.a-Caratteristiche delle potenze e della velocità di rotazione richiesta alle gambe

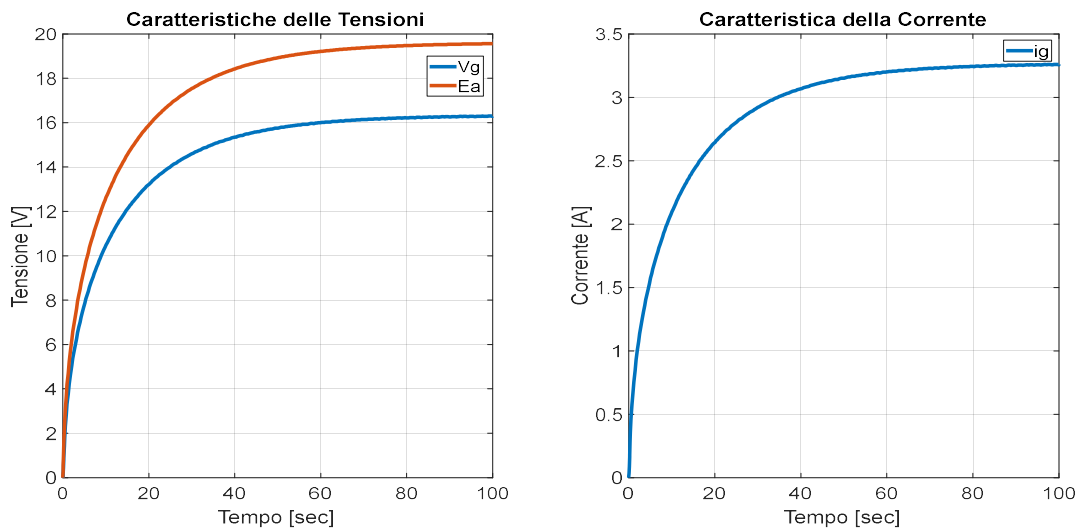
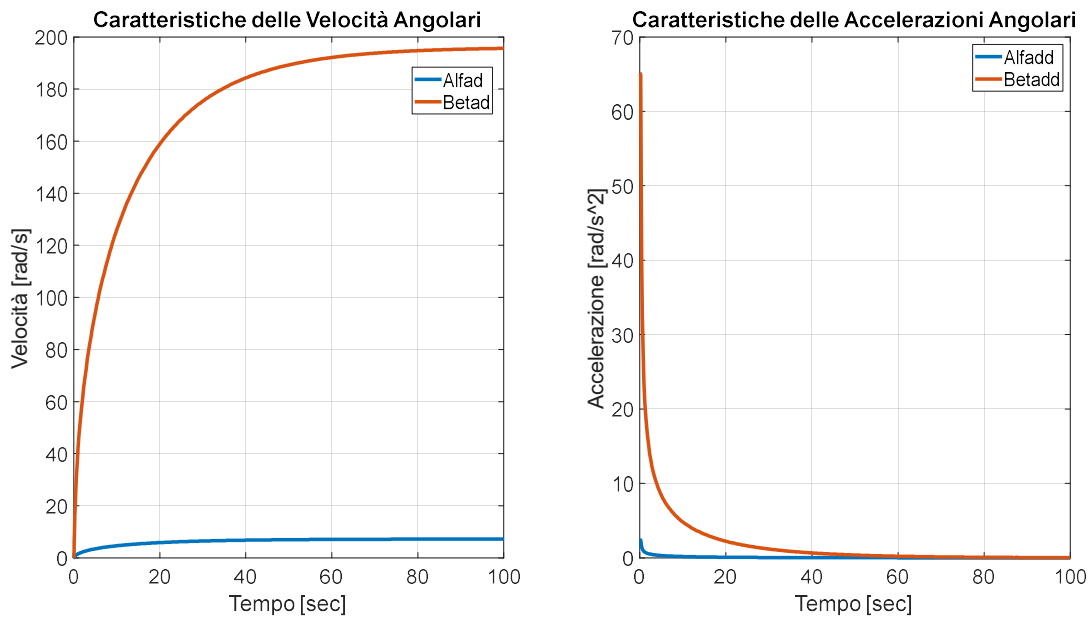
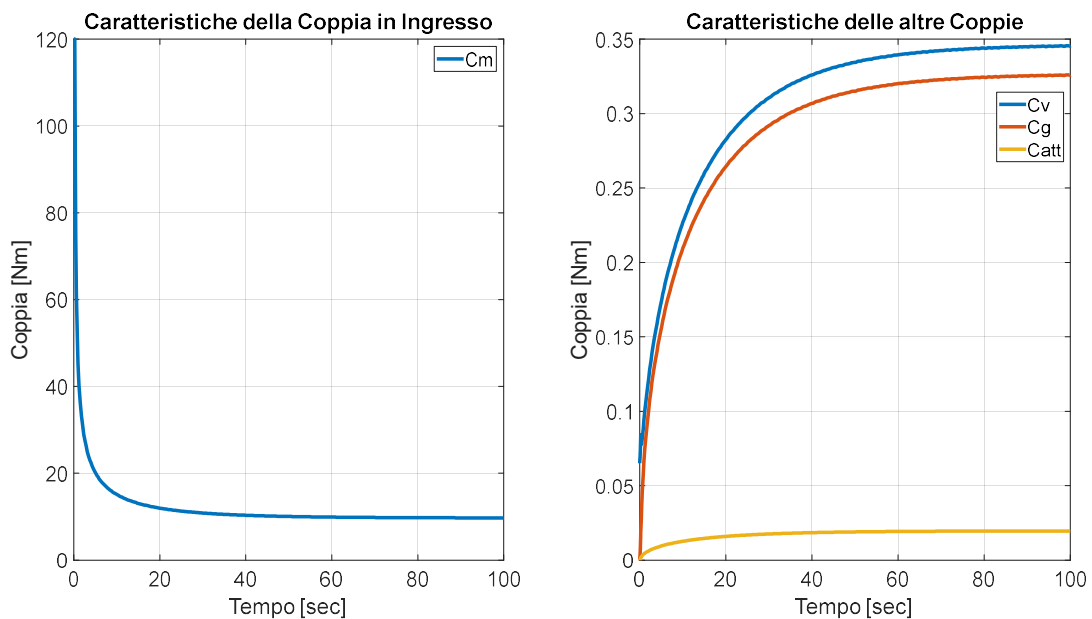


Figura 143.b-Caratteristiche delle tensioni (Sinistra) e corrente (Destra)

Per quello che concerne invece la tensione  $V_G$  e la corrente  $i_g$ , è utile ricordare che sono fortemente influenzate dalla resistenza equivalente  $R_U$ , dunque appena superato l'intervallo di transitorio, raggiungono immediatamente dei valori che si mantengono costanti per il resto della simulazioni, rispettivamente 16 V circa e poco meno di 3,5 A. Presentano un comportamento del tutto analogo le velocità angolari, dal momento che anch'esse si stabilizzano superato il tratto di transitorio, una diretta conseguenza determinata dall'annullamento delle accelerazioni. Infine gli andamenti delle coppie possono essere dedotti molto semplicemente affidandosi ai soli risultati ottenuti: infatti  $C_G$  dipende dalla corrente  $i_g$  (a meno di una costante), lo stesso vale per  $C_{att}$  che viene determinata a partire dalla velocità  $\dot{\gamma}$ ,  $C_V$  invece è calcolata sommando  $C_G$ ,  $C_{att}$  e l'accelerazione  $\ddot{\gamma}$  (moltiplicata prima per una costante) tra loro, mentre la coppia del motore-umano  $C_M$  è soggetta alla potenza delle gambe  $P_{gambe}$  e alla velocità  $\dot{\alpha}$ .



**Figura 143.c-Caratteristiche delle velocità (Sinistra) e delle accelerazioni (Destra) angolari**



**Figura 143.d-Caratteristiche della coppia richiesta alle gambe (Sinistra) e delle altre coppie principali (Destra)**

### 6.3.3.2- $R_U$ Crescente

I diagrammi di figura 144 mostrano, esattamente come nel caso precedente, un transitorio iniziale causato dal volano, della durata questa volta di solamente 20 secondi circa, terminato il quale progressivamente si osserva un andamento monotono (crescente o decrescente). Anche durante questa prova la potenza assorbita dal carico è minore di quella muscolare, mentre la velocità di rotazione richiesta alle gambe cresce per poi arrestarsi poco sopra i 70 giri al minuto.

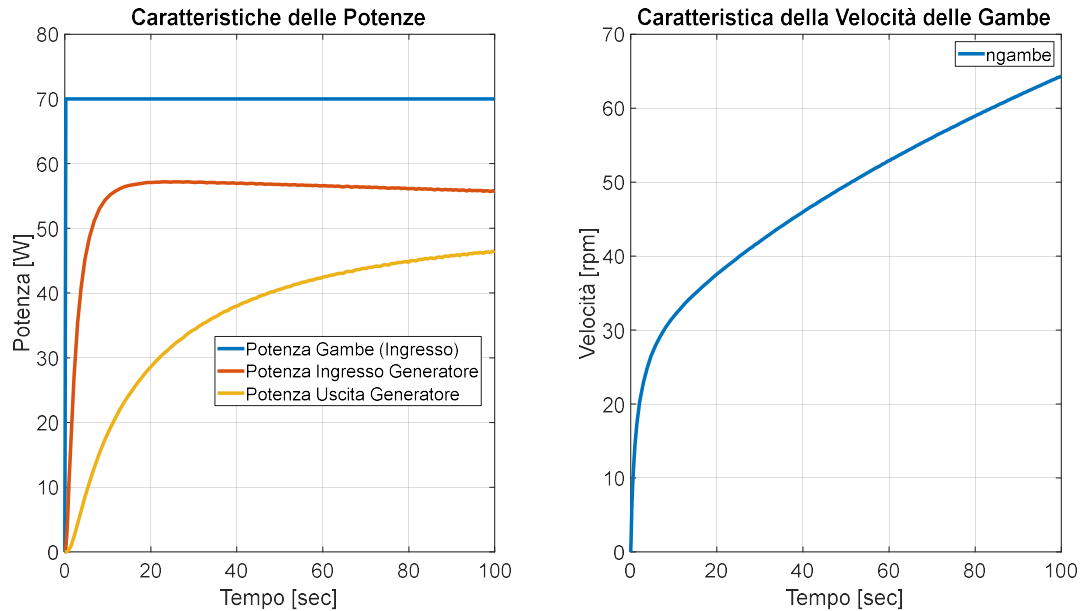


Figura 144.a-Caratteristiche delle potenze e della velocità di rotazione richiesta alle gambe

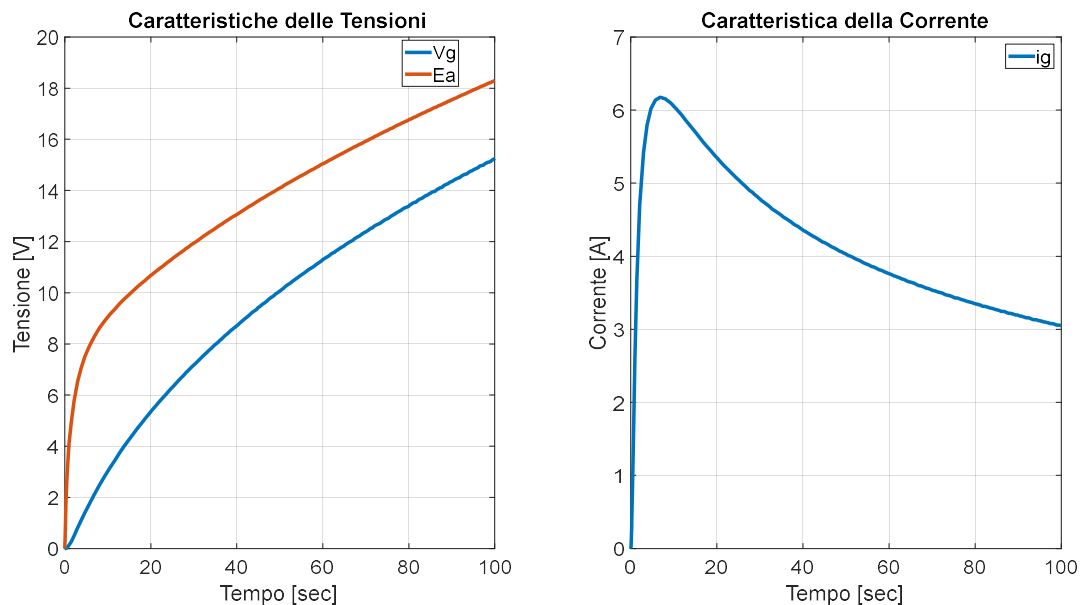
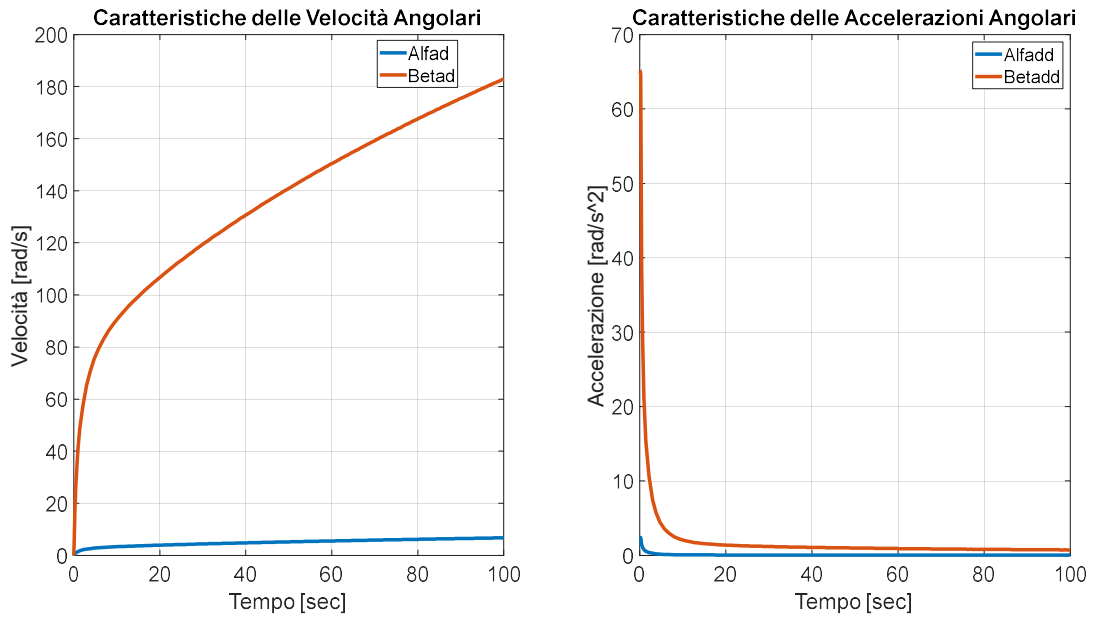


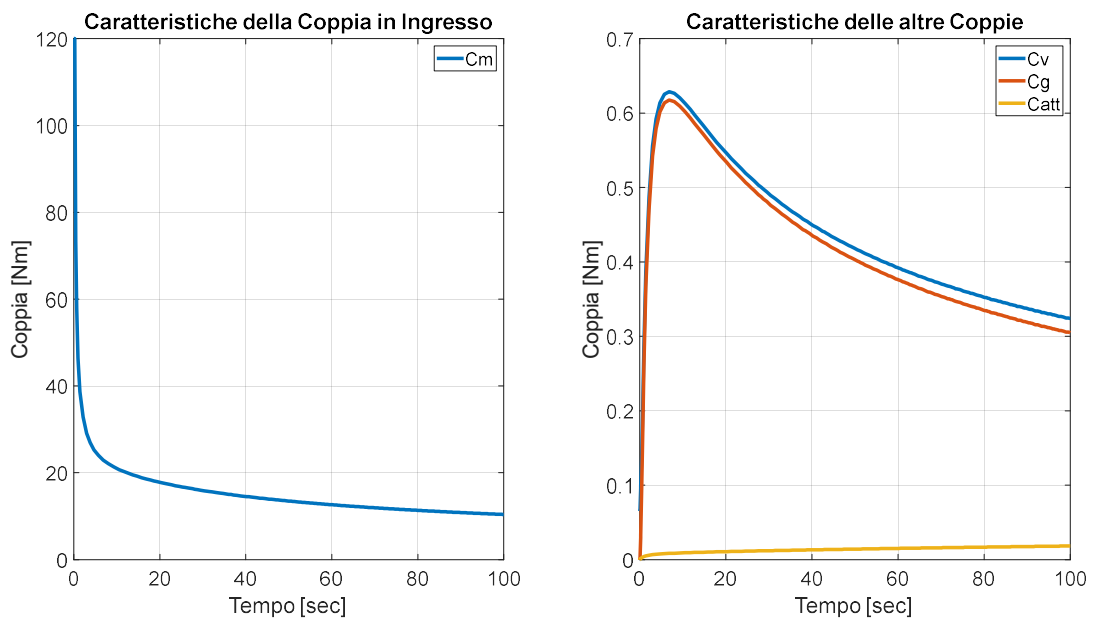
Figura 144.b-Caratteristiche delle tensioni (Sinistra) e corrente (Destra)

La tensione  $V_G$  e la corrente  $i_g$  dovranno rispettivamente crescere (fino a 16 V) e diminuire (fino a 3 A), essendo legate alla resistenza equivalente  $R_U$ , la quale aumenta in modo regolare per tutta la durata della prova; sebbene solo dopo aver attraversato l'intervallo di transitorio. Prestando attenzione alle curve delle accelerazioni si può constatare che vanno a ridursi, partendo da una massimo fino ad un minimo, seguendo un andamento quasi iperbolico, senza però mai annullarsi. Conseguentemente derivando queste ultime si possono altresì dedurre le caratteristiche delle velocità angolari. Per concludere le caratteristiche delle coppie possono essere desunte dalle altre appena esaminate. La

coppia  $C_G$  sarà identica alla corrente  $i_g$  (a meno di una costante), così come per la  $C_{att}$ ,  $C_V$  si calcola dalla somma delle altre due, infine la coppia  $C_M$  è ricavata dalla  $P_{gambe}$ .



**Figura 144.c- Caratteristiche delle velocità (Sinistra) e delle accelerazioni (Destra) angolari**



**Figura 144.d- Caratteristiche della coppia richiesta alle gambe (Sinistra) e delle altre coppie principali (Destra)**

### 6.3.3.3-Rapido Aumento di $R_U$

Nei grafici di figura 145 vengono presentate chiaramente le caratteristiche che descrivono, oltre alle consuete fasi di transitorio provocate dal volano, l'improvviso squilibrio che viene prodotto nel caso in cui si aumenti improvvisamente la resistenza equivalente  $R_U$ . Tale picco provoca una repentina riduzione della potenza ( $P_{carico}$ ) inviata al carico, che comunque tornerà ad aumentare e a stabilizzarsi subito dopo il suo superamento, mentre la velocità richiesta alle gambe ( $n_{gambe}$ ) arriva a superare gli 80 giri al minuto. Per questa ragione l'intero circuito elettrico dovrà adoperare una componentistica che durante il funzionamento deve essere comparabile, in termini di consumo energetico, ad una resistenza equivalente ( $R_U$ ) che non può superare i 5  $\Omega$  per periodi di tempo eccessivamente prolungati.

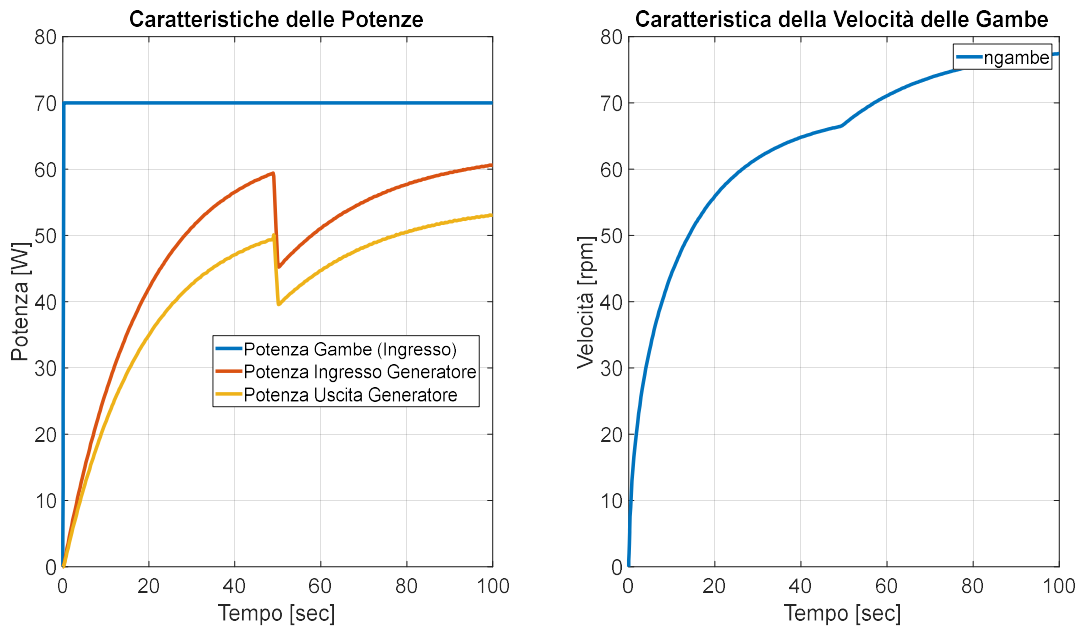


Figura 145.a-Caratteristiche delle potenze e della velocità di rotazione richiesta alle gambe

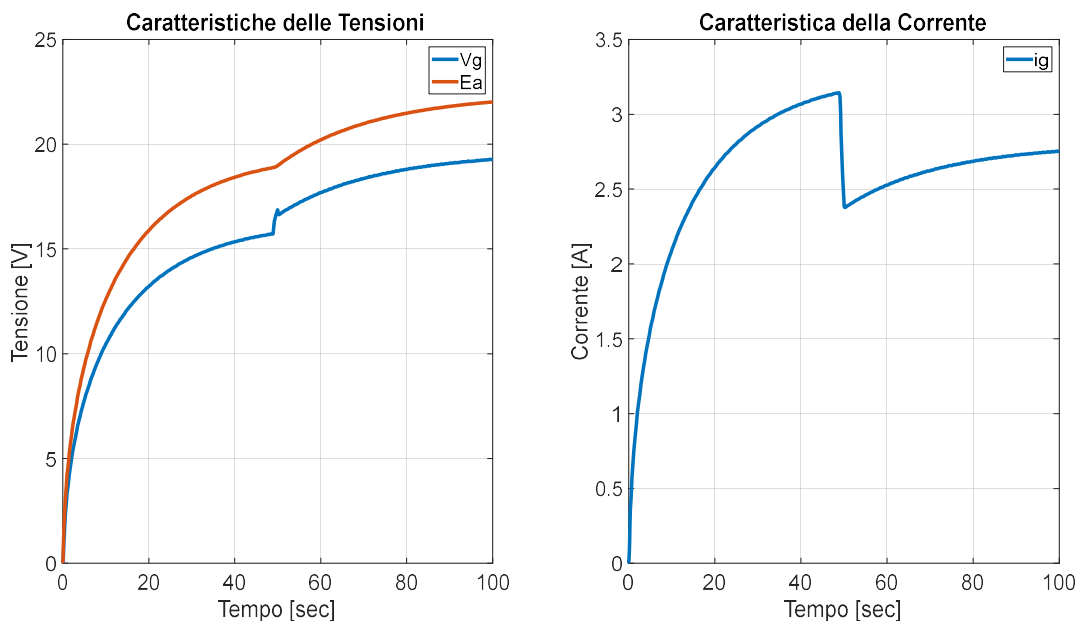
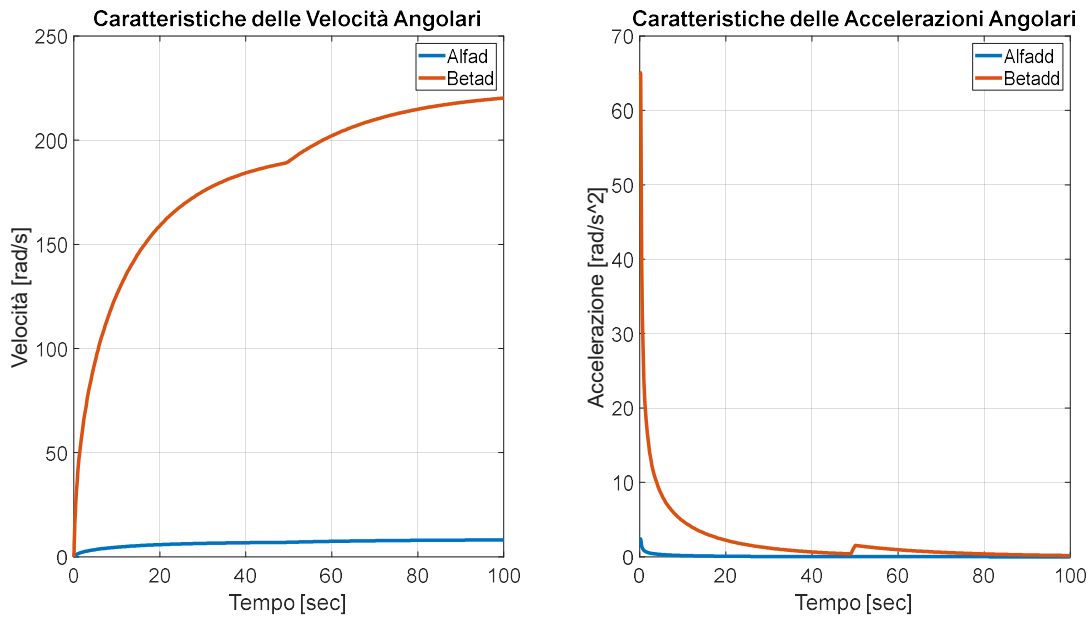


Figura 145.b-Caratteristiche delle tensioni (Sinistra) e corrente (Destra)

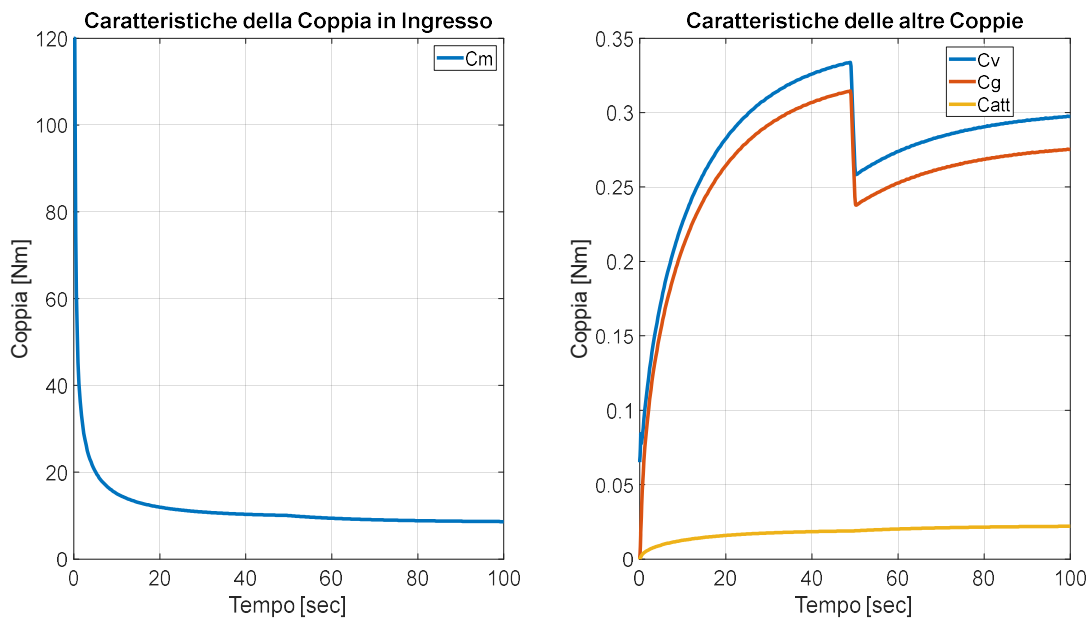
Esattamente come per i casi precedenti anche questa volta le curve della tensione  $V_G$  e della corrente  $i_g$  sono di fatto definite dall'andamento della resistenza equivalente  $R_U$ . Nell'istante in cui quest'ultima aumenta bruscamente allora in tutta risposta la tensione dovrà aumentare, mentre la corrente



diminuirà; alla fine vengono raggiunti dei valori rispettivamente di 20 V e di circa 3 A. Si riscontrano le stesse ripercussioni persino nei rimanenti risultati acquisiti da questa simulazione. Infatti sia le accelerazioni che le velocità angolari presentano uno sviluppo identico alla prova contraddistinta da  $R_U$  costante, per poi discostarsi nello stesso istante in cui si verifica il repentino incremento della resistenza. Infine le stesse considerazioni sulle coppie ricavate nei paragrafi precedenti sono ugualmente valide per questa analisi.



**Figura 145.c-Caratteristiche delle velocità (Sinistra) e delle accelerazioni (Destra) angolari**



**Figura 145.d-Caratteristiche della coppia richiesta alle gambe (Sinistra) e delle altre coppie principali (Destra)**

### 6.3.3.4- $R_U$ Sinusoidale

Il caso studio seguente (figura 146) è probabilmente uno dei più interessanti, poiché permette di osservare chiaramente il prezioso contributo del volano. Superato infatti un primo transitorio si può constatare come la potenza assorbita dall'utente ( $P_{carico}$ ) arrivi addirittura quasi ad uguagliare periodicamente quella introdotta dall'operatore ( $P_{gambe}$ ). Invece la velocità di rotazione che le gambe dovranno sostenere in queste specifiche condizioni oscilla periodicamente tra i 70 e gli 80 giri al minuto, ne consegue che il generatore può essere mantenuto in funzione per lunghi intervalli di tempo senza rischiare che l'operatore si stanchi eccessivamente.

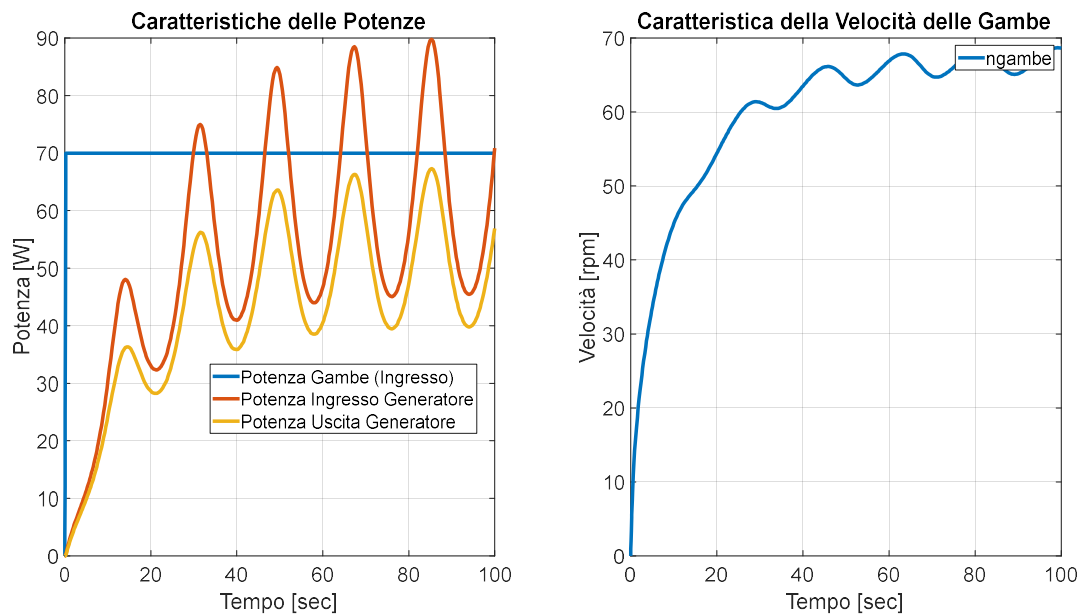


Figura 146.a-Caratteristiche delle potenze e della velocità di rotazione richiesta alle gambe

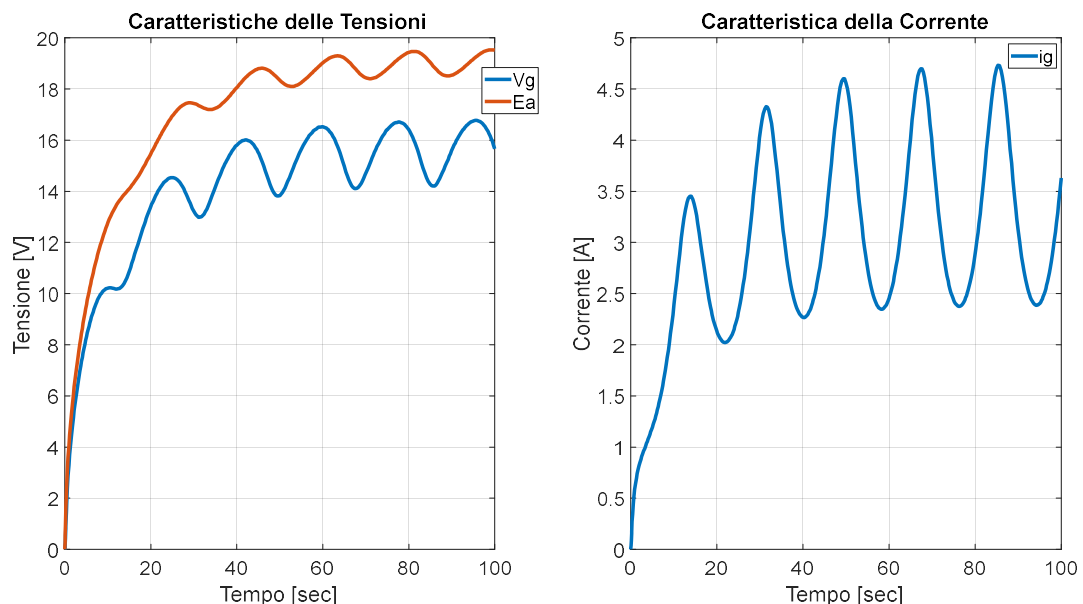
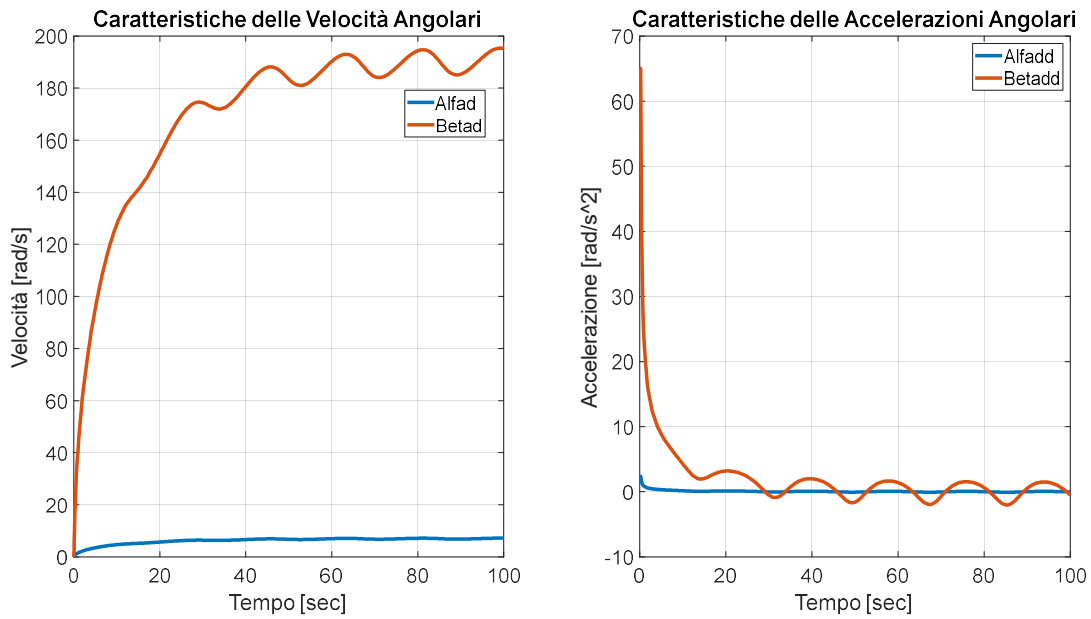


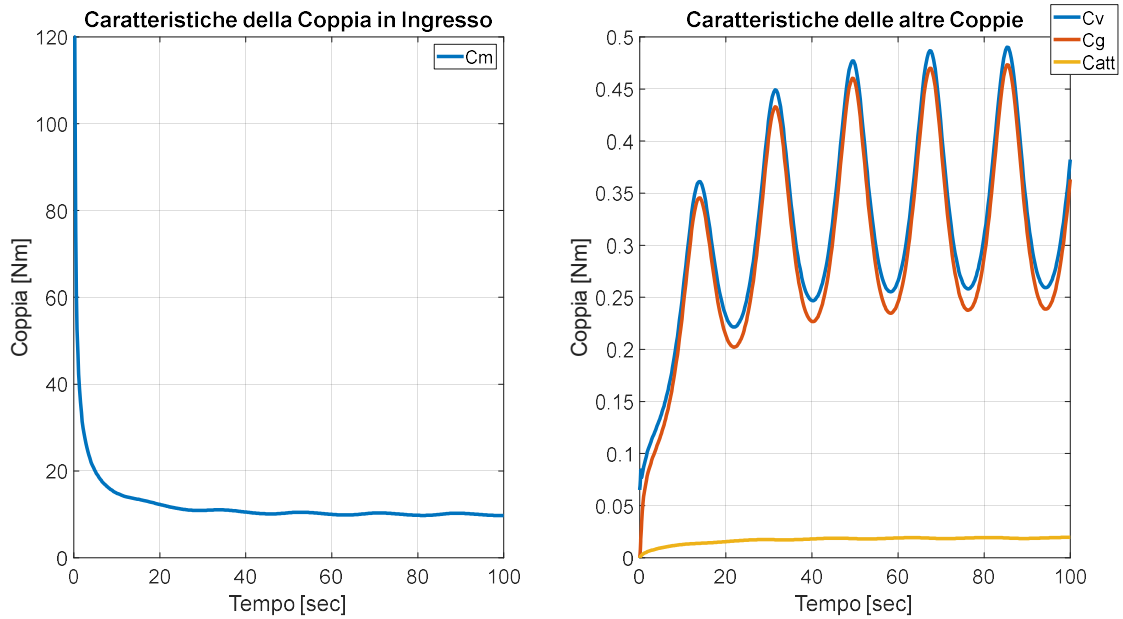
Figura 146.b-Caratteristiche delle tensioni (Sinistra) e corrente (Destra)

Il continuo variare della resistenza equivalente  $R_U$  provoca, ovviamente, un effetto molto simile sia sulla tensione che sulla corrente, che oscillano rispettivamente attorno ai 15 V e ai 3,5 A. Questo comportamento armonico lo si può riscontrare allo stesso modo nelle accelerazioni e di conseguenza anche le velocità ne saranno influenzate, sebbene questa tendenza sia maggiormente incisiva spostandosi dall'albero più lento (del motore-animato) verso quello più veloce (del generatore

elettrico). Le coppie, come sempre, possono essere dedotte dalle curve delle altre grandezze senza particolari difficoltà, poiché sono sufficienti solamente pochi calcoli.



**Figura 146.c-Caratteristiche delle velocità (Sinistra) e delle accelerazioni (Destra) angolari**



**Figura 146.d-Caratteristiche della coppia richiesta alle gambe (Sinistra) e delle altre coppie principali (Destra)**

### 6.3.4-Scenari con $P_{gambe}$ Variabile ed $R_U$ Costante

Esattamente come durante lo studio condotto precedentemente anche questa fase dell'indagine dovrà essere suddivisa in tre sottogruppi, ciascuno dei quali affronterà un diverso andamento della  $P_{gambe}$ .

#### 6.3.4.1- $P_{gambe}$ Crescente

I risultati di seguito presentati (figura 147) sono del tutto simili al caso che proponeva la potenza  $P_{gambe}$  costante e la resistenza equivalente  $R_U$  monotona crescente: il volano produce pure questa volta un transitorio, per i primi 20 secondi, al cui termine segue un andamento stabile e monotono crescente. Tuttavia superati i 50 secondi dall'inizio della simulazione si raggiunge una  $P_{gambe}$  di oltre 80 W e una  $n_{gambe}$  di 80 giri al minuto, entrambi i valori non possono essere sostenuti molto a lungo senza implicare uno sforzo crescente. Al termine della prova poi la velocità richiesta alle gambe raggiunge addirittura i 120 giri al minuto, di conseguenza l'operatore non sarebbe in grado di investire e mantenere costante per lungo tempo, una potenza di 140 W.

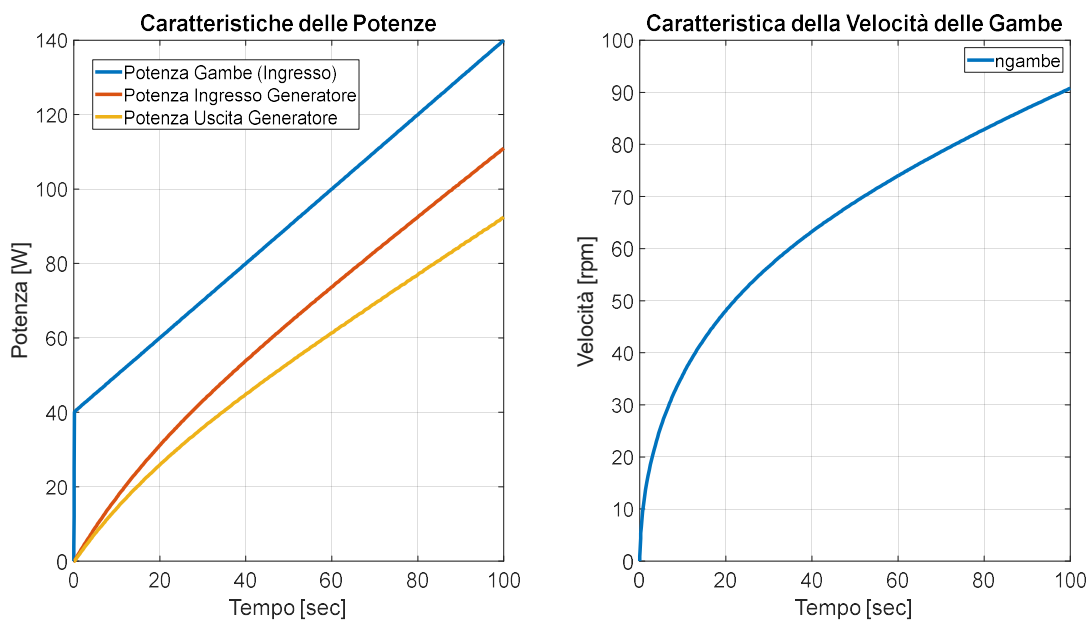


Figura 147.a-Caratteristiche delle potenze e della velocità di rotazione richiesta alle gambe

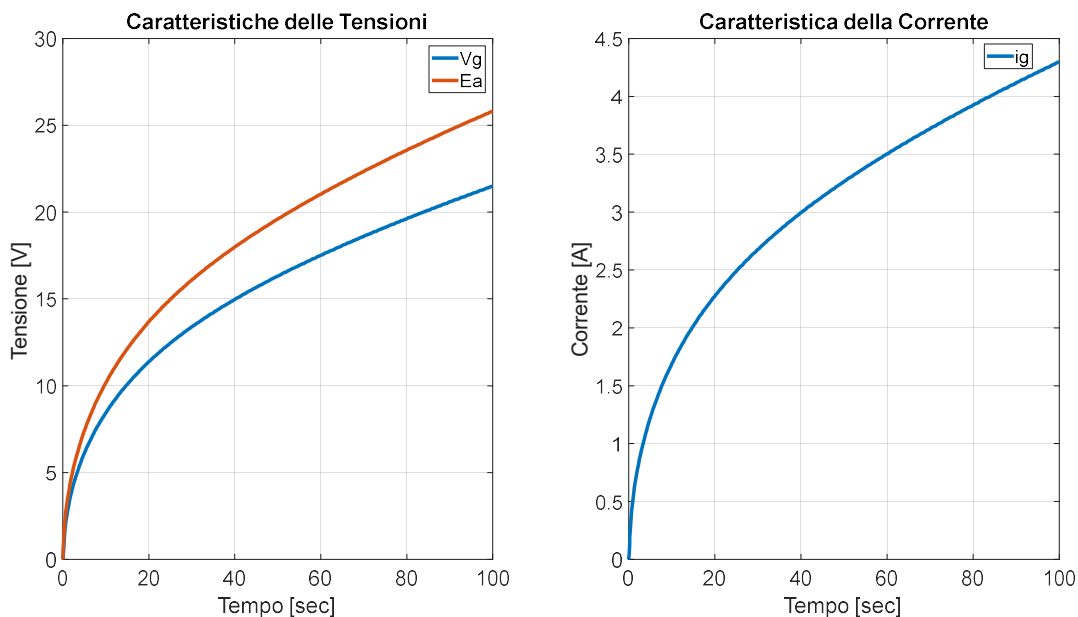
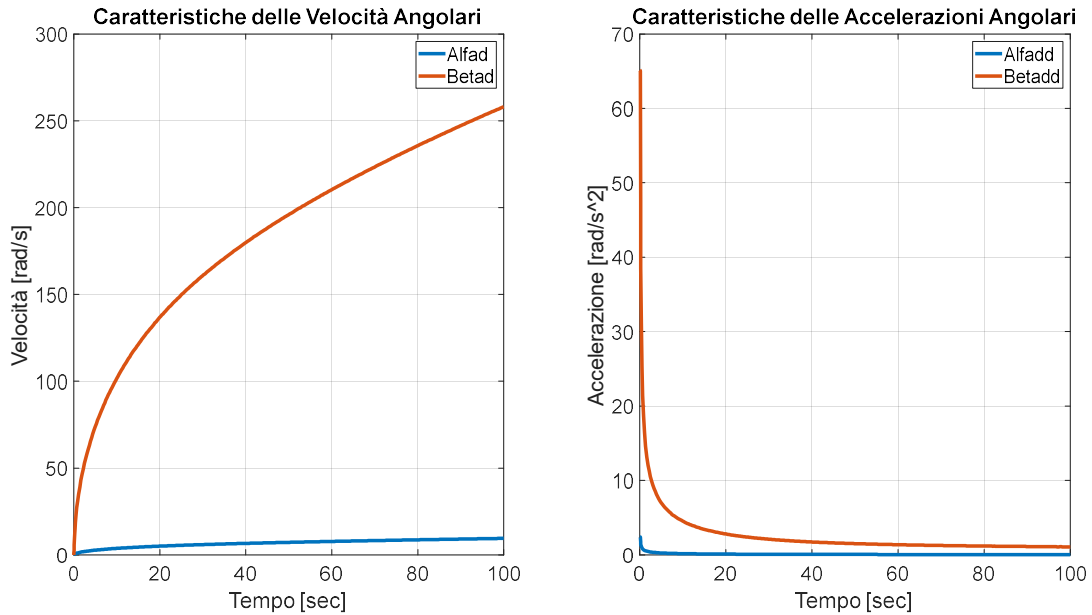
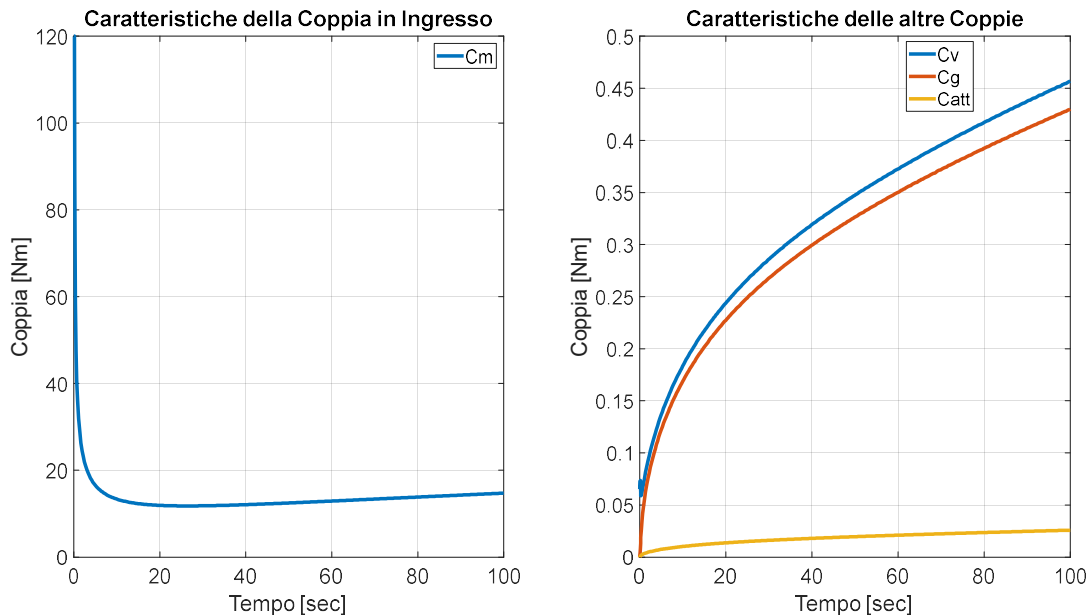


Figura 147.b-Caratteristiche delle tensioni (Sinistra) e corrente (Destra)

Quanto detto finora vale pure per la tensione  $V_G$  e la corrente  $i_g$ , le quali raggiungono rispettivamente i 20 V e i 4,5 A, dei quantità molto alte, che costringerebbero l'impiego di componenti elettrici abbastanza costosi e specifici. L'unica soluzione disponibile, capace di bilanciare questi inconvenienti, sembrerebbe essere quella di far variare la resistenza equivalente  $R_U$ . Dal momento che le accelerazioni si annullano, oltrepassato il transitorio, allora le velocità crescono con pendenza costante per tutto il tempo rimanente della simulazione. Per quanto riguarda invece le coppie il discorso è lo stesso esposto nei casi studio precedenti.



**Figura 147.c-Caratteristiche delle velocità (Sinistra) e delle accelerazioni (Destra) angolari**



**Figura 147.d-Caratteristiche della coppia richiesta alle gambe (Sinistra) e delle altre coppie principali (Destra)**

### 6.3.4.2-Rapido Aumento di $P_{gambe}$

I risultati presentati nei grafici di figura 148 mostrano in modo evidente che un improvviso aumento della potenza muscolare ( $P_{gambe}$ ) provochi unicamente una seconda fase di transitorio, per stabilizzarsi. Esattamente come per il caso studiato precedentemente, un aumento della potenza investita dall'operatore ( $P_{gambe}$ ), repentino o meno, oltre gli 80 W comporta un innalzamento insostenibile della velocità domandata alle gambe. Perciò anche in questa situazione è necessario affiancare all'incremento della  $P_{gambe}$  una modifica della resistenza equivalente  $R_U$ , per poter proseguire in queste specifiche condizioni di lavoro.

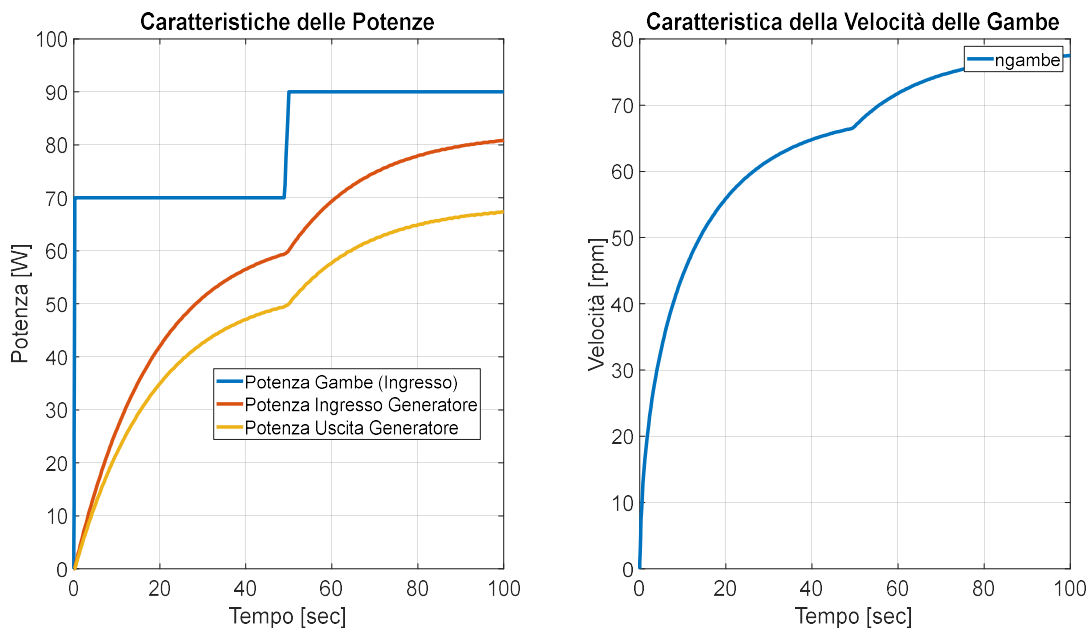


Figura 148.a-Caratteristiche delle potenze e della velocità di rotazione richiesta alle gambe

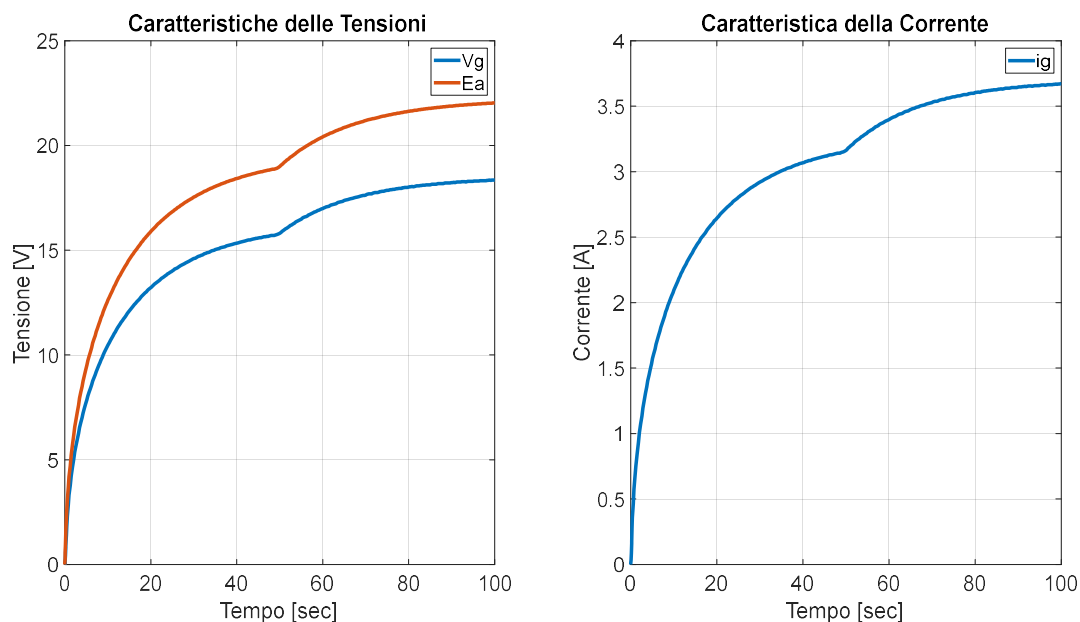
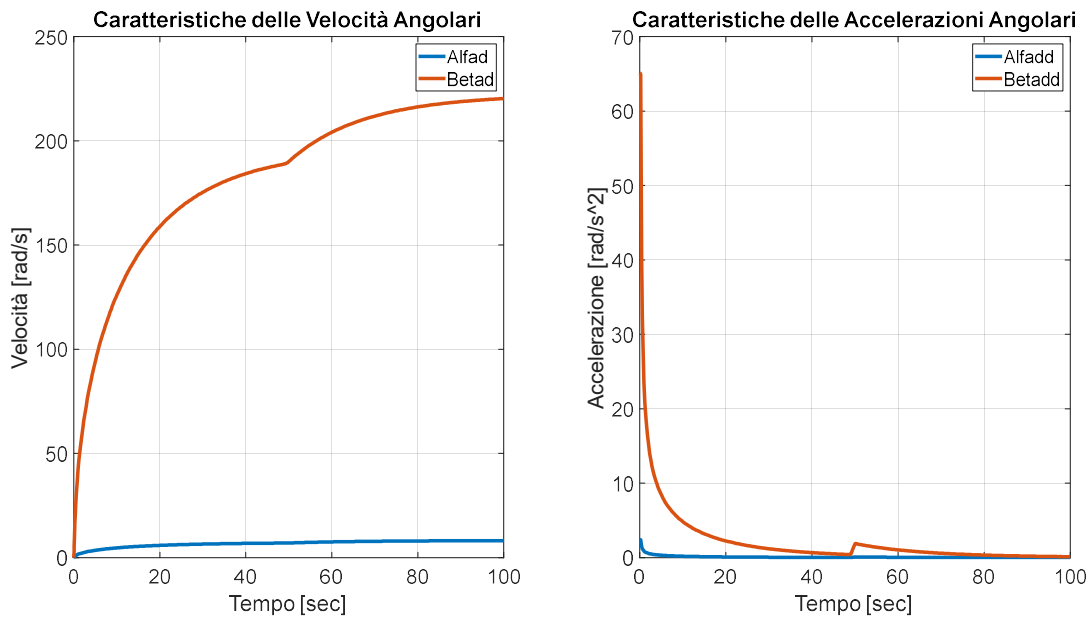


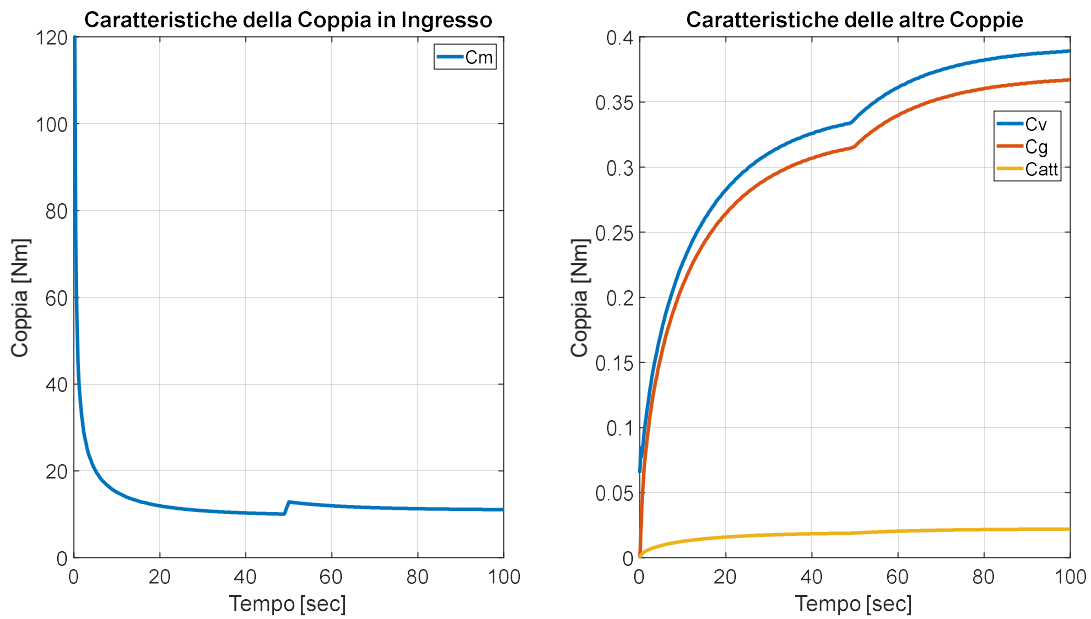
Figura 148.b-Caratteristiche delle tensioni (Sinistra) e corrente (Destra)

L'influenza dell'improvviso aumento della potenza investita dall'operatore non provoca in questa situazione effetti particolarmente interessanti o rilevanti, per quanto concerne le restanti grandezze. Infatti i valori raggiunti dalla tensione  $V_G$  e dalla corrente  $i_g$  non sono particolarmente pericolosi, pertanto non si richiede un circuito elettrico speciale, come invece accadeva nel caso studio

precedente. Le accelerazioni, sorpassati ambedue i transitori, proseguono ad annullarsi, così da provocare una velocità costante fino al termine della prova. Infine tutte le informazioni inerenti le coppie vengono ricavate come al solito partendo dalle altre curve.



**Figura 148.c-Caratteristiche delle velocità (Sinistra) e delle accelerazioni (Destra) angolari**



**Figura 148.d-Caratteristiche della coppia richiesta alle gambe (Sinistra) e delle altre coppie principali (Destra)**

### 6.3.4.3- $P_{gambe}$ Sinusoidale

Questa specifica condizione di funzionamento del macchinario è di fatto quella che più di frequente verrà ad istaurarsi durante il suo utilizzo. Intatti si desidera alimentare un carico la cui richiesta energetica resta costante per tutto il tempo, ma la potenza che l'operatore può fornire, data la particolare interfaccia uomo-macchina realizzata (azionamento con pedali), avrà un andamento sicuramente non regolare (paragrafo 4.3). Inoltre il comportamento armonico del segnale all'ingresso del dispositivo produce una potenza in uscita (figura 149), superato il transitorio iniziale, quasi costante proprio grazie al volano; quindi non così dissimile dal caso studi che prevedeva  $P_{gambe}$  e  $R_U$  costanti. Infine la velocità delle gambe dovrà mantenersi poco sopra i 70 e non oltre gli 80 giri al minuto, consentendo pertanto all'operatore di sopportare tranquillamente questa tipologia di esercizio.

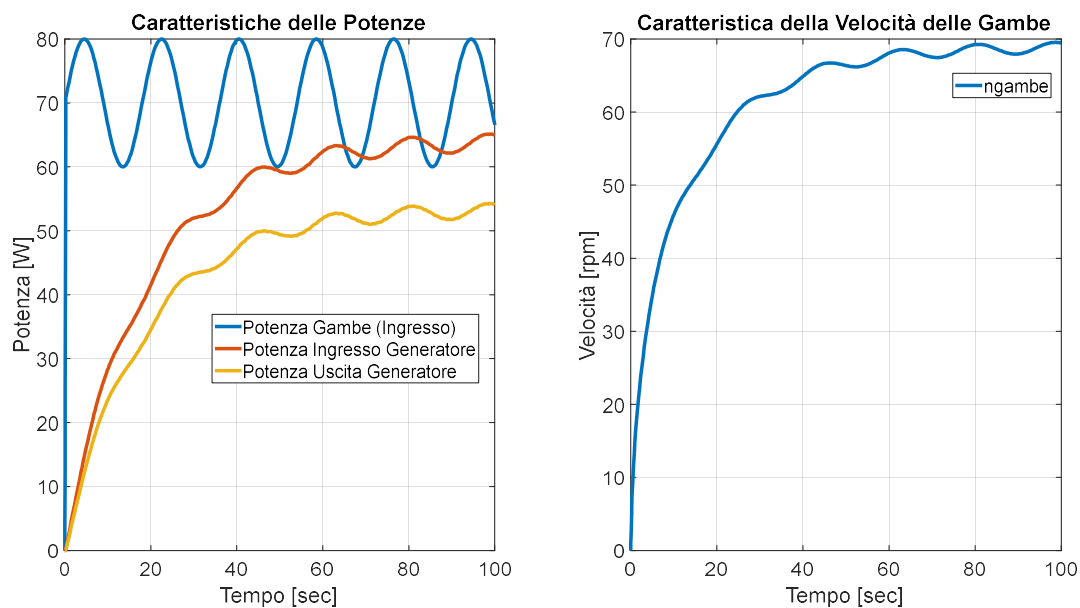


Figura 149.a-Caratteristiche delle potenze e della velocità di rotazione richiesta alle gambe

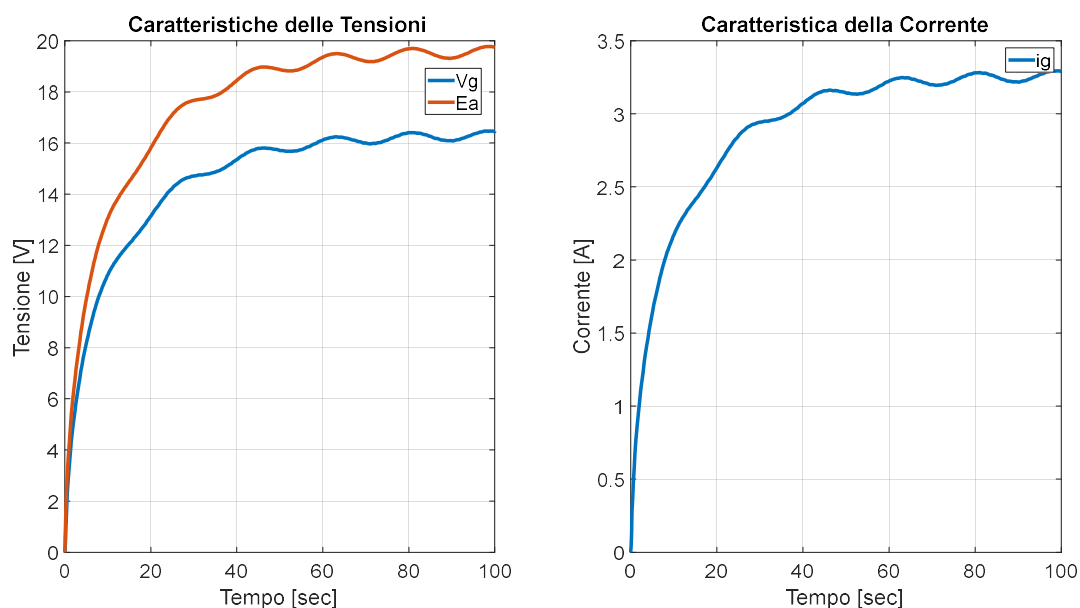
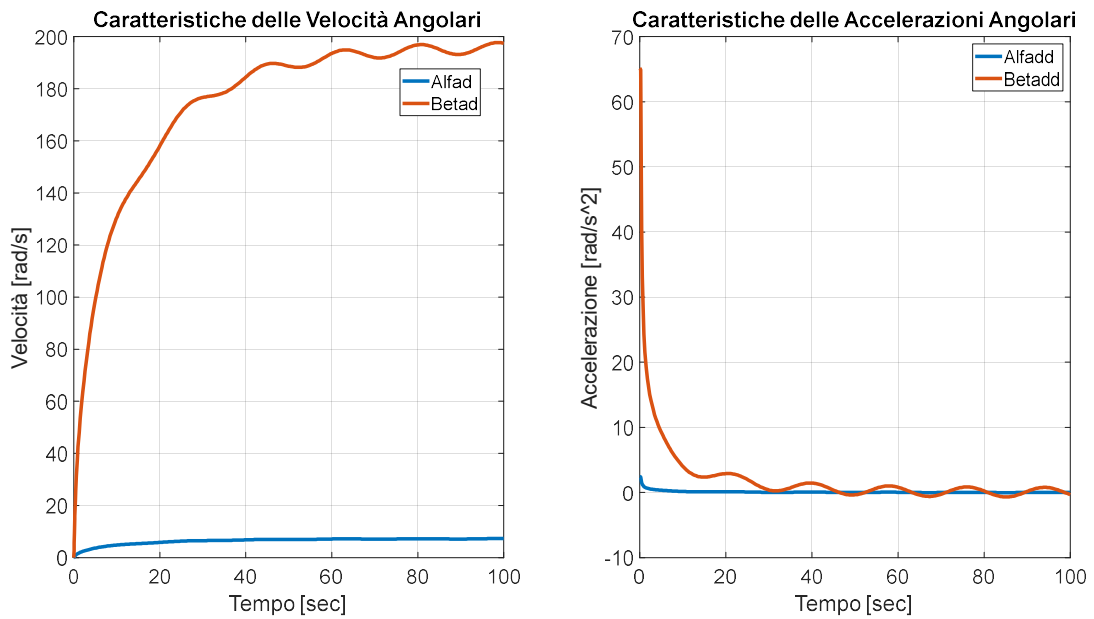


Figura 149.b-Caratteristiche delle tensioni (Sinistra) e corrente (Destra)

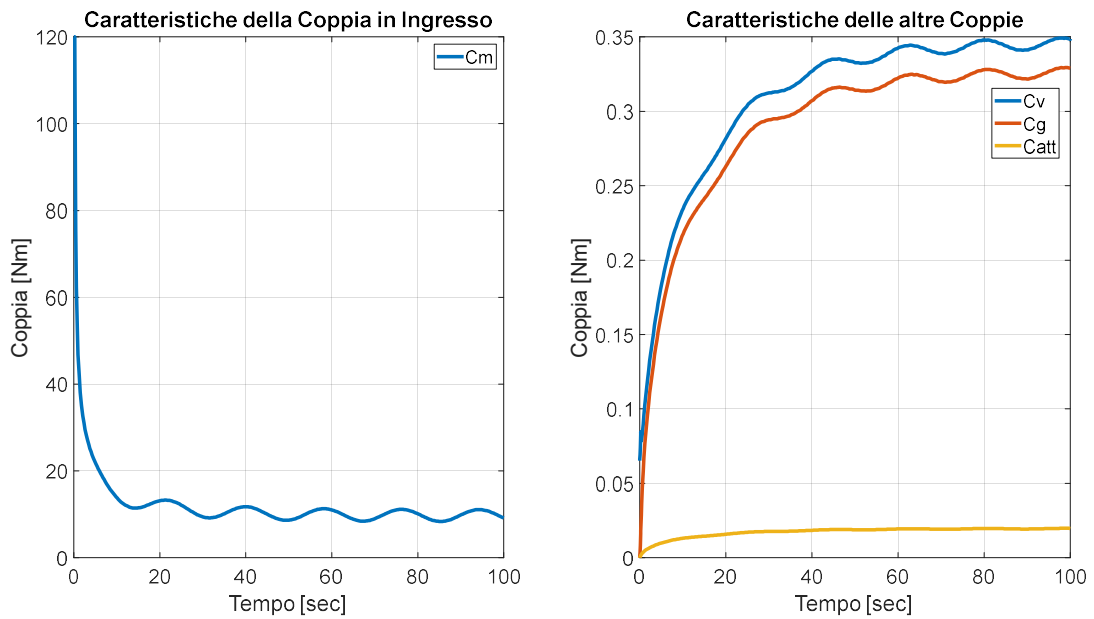
Le considerazioni che si possono trarre dallo studio dei grafici della tensione  $V_G$  (si stabilizza intorno a 16 V) e della corrente  $i_g$  (si stabilizza intorno a 3,3 A) sono sostanzialmente le stesse che si sono riscontrate nella simulazione che prevedeva al contrario  $P_{gambe}$  costante ed  $R_U$  sinusoidale. Tuttavia



esaminando attentamente gli andamenti è possibile notare come l'impronta armonica in questa situazione sia molto meno marcata ed incisiva. Ancora una volta le coppie possono essere evinte combinando tra loro le informazioni ottenute dall'analisi delle curve delle altre grandezze.



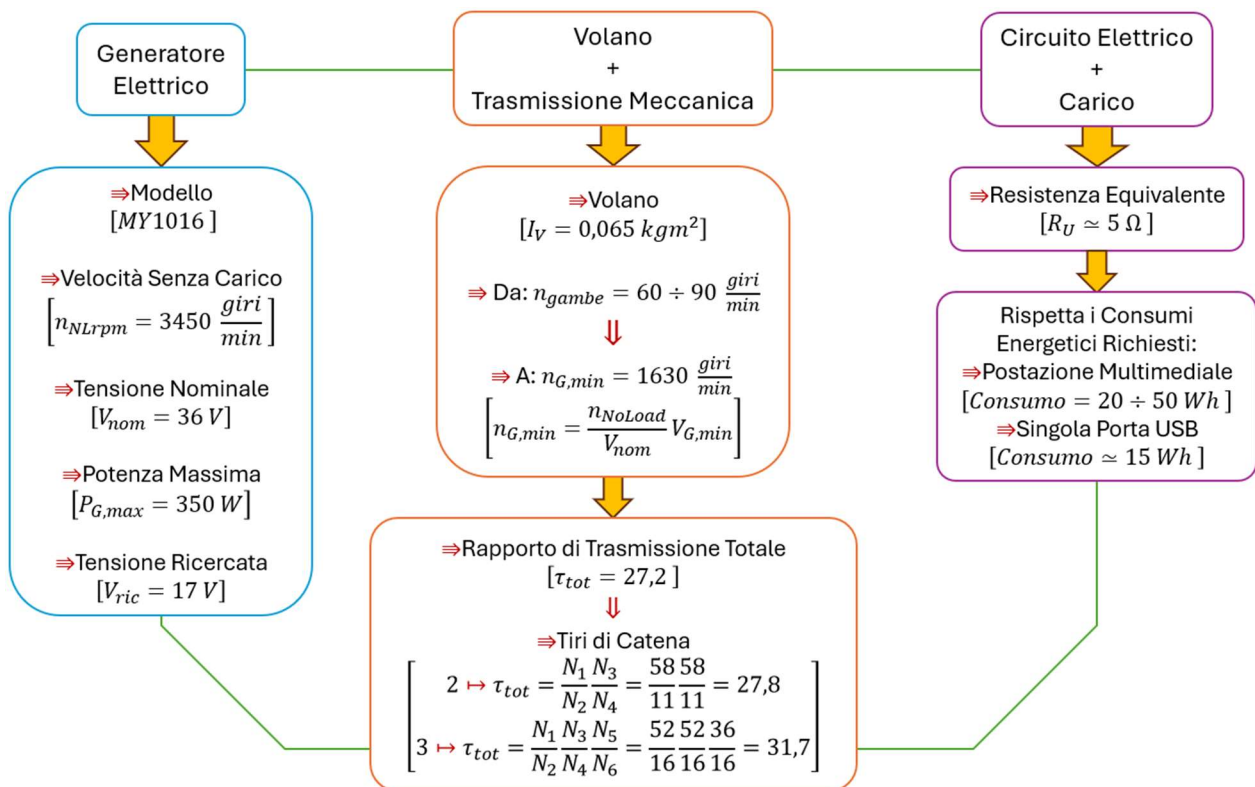
**Figura 149.c-Caratteristiche delle velocità (Sinistra) e delle accelerazioni (Destra) angolari**



**Figura 149.d-Caratteristiche della coppia richiesta alle gambe (Sinistra) e delle altre coppie principali (Destra)**

### 6.3.5-Conclusioni

Le informazioni raccolte complessivamente attraverso le simulazioni che sono state condotte hanno permesso di convalidare definitivamente, come previsto all'inizio delle indagini, tutti i parametri legati al modello del motore elettrico selezionato (MY1016: con spazzole, corrente continua e magneti permanenti). Ciò che si è potuto determinare con certezza in realtà sono state le dimensioni del volano, vale a dire un disco in legno di abete con un raggio ( $r_V$ ) di 0,2 metri e uno spessore ( $h_V$ ) di 0,03 m, successivamente adoperato durante le differenti prove su Simulink condotte nei capitoli precedenti. In aggiunta è stato possibile notare che manovrando con accortezza sia il segnale d'ingresso ( $P_{gambe}$ ) che quello d'uscita ( $P_{carico}$ ), allora si è perfettamente in grado di garantire una velocità delle gambe  $n_{gambe}$  quasi sempre ottimale, cioè compresa tra le 70 e le 80 rotazioni al minuto. Lo stesso discorso vale pure per la tensione  $V_G$  e la corrente  $i_g$ , le quali si attestano opportunamente attorno ai valori ottimali desiderati, ossia 16÷17 V e 3÷4 A; quindi circa 50 Wh. Ciò implica che la resistenza equivalente  $R_U$  assunta, indicativamente, all'inizio delle simulazioni (circa 5  $\Omega$ ) ha dimostrato, effettivamente, di essere proprio quella ottimale da ricercare, in base ai consumi energetici richiesti dalle condizioni operative dell'impianto (si rimanda al paragrafo 6.1.1).



**Figura 150-Dati tecnici ottenuti dai risultati delle simulazioni condotte su Simulink**

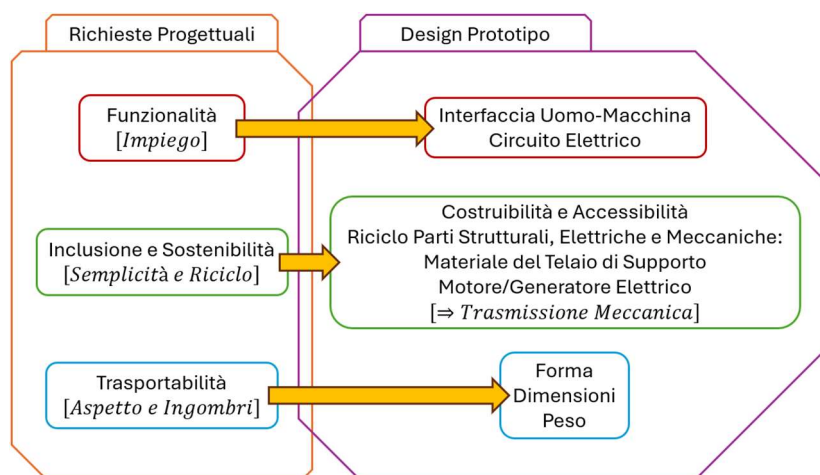
L'unica incognita ancora aperta è quella relativa al rapporto di trasmissione, in altre parole il numero di tiri di catena (stabilito dal numero di denti delle corone utilizzate) che queste analisi non permettono di trovare. Infatti le soluzioni consentite sono di fatto solamente due, con due o tre tiri di catena, e la scelta di una rispetto all'altra varia in base al rendimento, agli ingombri, ma soprattutto all'effettiva attuabilità del meccanismo stesso nel contesto di questa tesi. Per la cernita delle corone adatte al compito di trasferire meccanicamente l'energia è indispensabile altresì conoscere quale siano le dentature più diffuse; ricordando ovviamente che il rapporto di trasmissione totale ( $\tau_{tot}$ ) da garantire è all'incirca 27. Attraverso una rapida ricerca sulla rete si evince che il loro numero di denti può variare da un minimo di 11 fino ad un massimo di 60, tra quelle acquistabili sul mercato o facilmente reperibili da materiale dimesso. Perciò, condensando tutte queste nozioni, si giunge alla conclusione che le combinazioni più inclini a rispettare tutti i criteri di progettazione sono appena un paio:

$$\tau_{tot} = \begin{cases} \frac{N_1 N_3}{N_2 N_4} = \frac{58 \cdot 58}{11 \cdot 11} = 27,8 \text{ (2 tiri di catena)} \\ \frac{N_1 N_3 N_5}{N_2 N_4 N_6} = \frac{52 \cdot 52 \cdot 36}{16 \cdot 16 \cdot 16} = 31,7 \text{ (3 tiri di catena)} \end{cases};$$

dove  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$  sono rispettivamente il numero di denti delle quattro (2 tiri di catena) e sei corone (3 tiri di catena). Ciononostante la scelta definitiva tra la configurazione con due oppure tre tiri di catena deve essere rimandata al capitolo successivo, relativo appunto alla modellazione 3D del prototipo finale. Ad ogni modo per una maggiore chiarezza nella figura 150 sono stati riportati i dati tecnici dei specifici componenti individuati grazie ai risultati ottenuti nelle simulazioni appena completate, grazie ai quali sarà possibile eseguire la modellazione del prototipo finale.

## 7-Modellazione 3D

La vera modellazione tridimensionale, e l'eventuale costruzione, del prototipo finale richiede innanzitutto che siano ben noti e chiari tutti i vincoli progettuali che condizionano maggiormente l'aspetto complessivo del generatore a pedali. Nel capitolo precedente sono state determinate le diverse funzionalità operative che dovranno essere garantite dal dispositivo e di conseguenza sono state individuate tutte le soluzioni tecniche capaci di soddisfarle; ciò ha consentito di abbozzare un'idea generale dell'aspetto complessivo e delle sue dimensioni. Il risultato così rinvenuto, per semplicità, è stato implementato prendendo in considerazione principalmente dei componenti nuovi e facilmente acquistabili. Infatti dal momento che l'obiettivo di questa tesi è quello di inventare un generatore elettrico a pedali nell'ottica della sostenibilità sociale ed ecologica, allora l'intento è stato quello di tracciare delle linee guida che possano indirizzare e facilitare potenziali o future modifiche, dettate dalle disponibilità economiche o di reperibilità di tutta la componentistica. Per questo motivo la pianificazione del prototipo verrà condotta tenendo a mente il principio del riciclo e dell'accessibilità, affinché venga consentito a chiunque di apportare tutti i cambiamenti che ritiene più opportuni senza incorrere in spiacevoli inconvenienti.



**Figura 151-Schema della criterio seguito per la costruzione del modello 3D del prototipo finale**

A questo punto, dunque, occorre recuperare (capitolo 6) le richieste progettuali che effettivamente influenzano di più il design del macchinario nel suo insieme (figura 151). In sostanza lo sviluppo di un generico generatore elettrico a pedali dipende in primo luogo proprio del compito che dovrà essere in grado di adempiere; il quale a sua volta definirà sia quale interfaccia uomo-macchina che il tipo di circuito elettrico adottare. Note queste informazioni, e ricordando il proposito di voler soddisfare le tematiche dell'inclusione e della sostenibilità (semplicità nella costruzione e nell'utilizzo, riciclando, se possibile, le diverse parti costituenti del dispositivo da vecchie attrezzature dismesse), si procede con l'identificazione del materiale del telaio di supporto e del motore-generatore elettrico. Quest'ultimo poi andrà a condizionare complessivamente il sistema di trasmissione meccanica che dovrà assicurare il trasferimento della potenza muscolare in meccanica, affinché possa essere accettata dal motore, e che in questo caso specifico definirà il numero di tiri di catena necessari (probabilmente 2 oppure 3 tiri). L'ultimo elemento desiderato per completare il design del prototipo concerne la trasportabilità, in altre parole la forma e le dimensioni finali della struttura di supporto che caratterizzeranno l'apparecchio. La specifica dei vari propositi da soddisfare durante il disegno del macchinario comunque si colloca solamente all'inizio dell'intero processo di modellazione 3D. Difatti a seguire dovrà essere elaborare una schematizzazione dell'impostazione generale della configurazione finale che permetta di visualizzare un'immagine completa dell'intera struttura. Soltanto quando verrà conclusa questa seconda questione si potrà procedere con l'effettiva costruzione della configurazione tridimensionale, che verrà eseguita con l'ausilio del CAD SolidWorks.

## 7.1-Design: Caratteristiche e Aspetto Generali

Le richieste progettuali individuate impongono, come si è appena constatato, dei precisi vincoli che fissano inequivocabilmente la forma che il prototipo potrà assumere al termine della modellazione. Per questa ragione la soluzione proposta nel paragrafo 6.1 (figura 99), che per convenienza era stata assunta come punto di riferimento durante esecuzione dei calcoli, ora non può più essere presa in considerazione. Come già ampiamente esposto precedentemente non è possibile adoperare il telaio di una bicicletta (o cyclette) dismessa per realizzare la postazione dell'operatore, per il semplice fatto che lo si costringerebbe in una posizione poco adatta a svolgere una seconda attività in contemporanea, vale a dire oltre alla generazioni di elettricità. Pertanto si dovrà optare per un dispositivo creato da zero che prevede una seduta, compatibile con una comune sedia, ed eventualmente anche un piano di lavoro, sul quale poter appoggiare la postazione multimediale (un PC e alcuni altri accessori). Per quanto riguarda invece la sostenibilità e l'inclusività si prevede di impiegare pedali, pedivelle, corone dentate e catene di vecchie biciclette dismesse, mentre il legno (abete) viene confermato per costituire la maggior parte della struttura di supporto del macchinario, data la facilità con cui può essere lavorato in confronto ad un metallo (acciaio). Tuttavia il vero inconveniente è rappresentato dal vincolo relativo alla trasportabilità, il quale impone a questo punto di scartare la precedente configurazione, che sostanzialmente optava per un tavolino o banco da riqualificare al fine di produrre corrente, poiché gli ingombri e il peso risulterebbero eccessivi ed insostenibili. L'ultima questione tecnica comunque che ancora deve essere affrontata è quella relativa alla trasmissione meccanica, nello specifico il numero di tiri di catena che comporranno il moltiplicatore di velocità. Ora, avendo già stabilito di voler realizzare un'intelaiatura il più compatta possibile, sarebbe allora preferibile adottare soltanto due tiri di catena, così da contenere le dimensioni e garantire oltretutto un rendimento migliore. Tuttavia, come anticipato, è necessario prima conoscere l'aspetto pratico di tale configurazione, accertandosi di eventuali criticità che potrebbero complicare l'effettiva costruzione di questo meccanismo. Infatti già il solo diametro piuttosto contenuta delle corone con 11 denti (figura 152) evidenzia chiaramente quanto possa essere problematico alloggiare questo tipo di ruote in qualsiasi contesto all'infuori di quello previste dal costruttore.



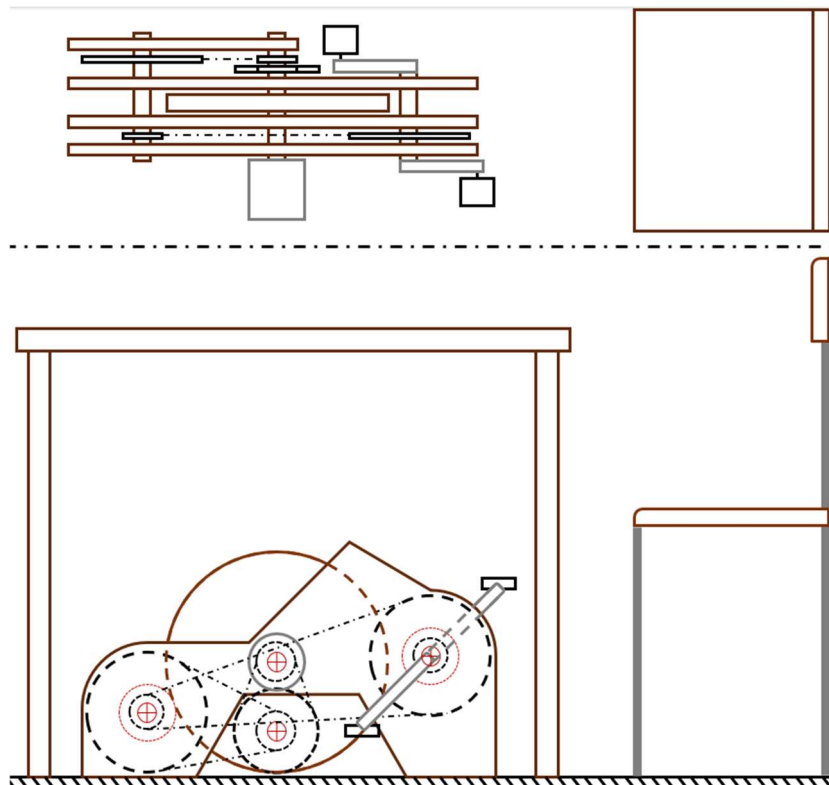
**Figura 152-Dimensioni della corona con 11 denti (Sunshine)**

Per quanto concerne invece la soluzione con tre tiri di catena non si rilevano particolari complicazioni, dato che persino le corone più piccole (16 denti) presentano un volume sufficientemente ampio da adattarsi alle specifiche esigenze del progetto. Inoltre il modello riportato nella figura 153 possiede una ruota libera incorporata al suo interno, un ulteriore apparecchio che ciononostante è essenziale per il corretto funzionamento del macchinario. Nella specifica condizione in cui l'operatore smettesse di pedalare, quest'ultima consentirebbe al volano di continuare a ruotare finché non esaurisce l'energia che aveva precedentemente immagazzinato; un elemento che al contrario verrebbe a mancare se si scegliessero solo due tiri di catena.



**Figura 153- Dimensioni della corona con 16 denti con ruota libera incorporata (VG Sports)**

A conti fatti l'assetto finale del dispositivo, unendo tutte richieste progettuali e le informazioni tecniche raccolte, consisterà di un'architettura, per quanto possibile, compatta e leggera, che gli consentirà di essere spostato in qualsiasi momento, a seconda delle esigenze, e di produrre energia elettrica mentre si sta al tempo stesso lavorando al proprio computer, siccome lo si può riporre facilmente al di sotto della propria scrivania, o tavolo (figura 154).



**Figura 154-Schema dell'impostazione generale della soluzione finale: vista dall'alto (Sopra) e vista laterale (Sotto)**

## 7.2-Il Prototipo Finale

Il telaio del dispositivo ideato è costituito, ovviamente, da un certo numero di parti separate, che una volta unite compongono la struttura di supporto del prototipo finale. Ultimati i disegni sono emersi un totale di 39 pezzi distinti (tabella 5), escludendo, però, le rondelle e le spine (potrebbe variarne la quantità e le dimensioni). Per poter cogliere appieno le diverse caratteristiche del modello completo, è senz'altro più proficuo prima visualizzarli uno ad uno.

Nominativo Parte	Quantità
Scheletro di Supporto	3
Pannello Laterale	4
Albero	4
Volano	1
Corona Dentata/Ruota Libera	6
Supporto per Corone	2
Catena	3
Pedivella con Pedale	2
Generatore Elettrico	1
Pannello di Controllo	1
Cassetta dei Componenti Elettrici	1
Cuscinetti	11

**Tabella 5-Elenco delle parti che compongono l'intera struttura**

Comunque, per comprendere, in linea generale, l'ispirazione dietro al design del prototipo, è sufficiente rammentare il materiale del quale è composto: in altre parole il legno (abete) e in particolare il formato in cui lo si può reperire. Difatti lo si può facilmente acquistare sotto forma di tavole, assi o stecche di spessore variabile in base alle disponibilità del rivenditore (figura 155).



**Figura 155-Forme di legno disponibili sul mercato (Sinistra: Japchet; Centro: SunWood; Destra: Bricolegnostore)**

Ora, dal momento che si desidera realizzare un prototipo fai-da-te che sia semplice da riprodurre, è preferibile orientarsi verso dimensioni il più possibile contenute, cosicché le si possa maneggiare con gli stessi utensili che si trovano in casa o che sono facilmente recuperabili in una qualsiasi ferramenta. Se ne deduce che gli spessori consigliati si aggirano intorno ai 2 cm e non troppo oltre; tuttavia, come emergerà in seguito, alcune delle parti progettate mostrano valori che superano questo intervallo. A questo punto è opportuno sottolineare che, sebbene tutti gli elementi del sistema siano stati modellati considerando solamente l'aspetto finale che dovranno assumere, gli spessori maggiori di quelli appena indicati si possono conseguire banalmente unendo tra loro più pannelli, con l'ausilio di colla, chiodi e viti (figura 156).



**Figura 156-Strumenti per giuntare tra loro le parti del telaio del generatore a pedali (Sinistra: Vinavil; Centro: GMD; Destra: Palestar)**

## 7.2.1-Disegni e Viste

Nei paragrafi successivi verranno esposti i disegni e le assonometrie di tutte le principali parti che compongono il prototipo finale, ad esclusione, però, della componentistica elettrica, data la grande varietà di modelli, e quindi i relativi ingombri, che si possono reperire sul mercato. Inoltre i disegno 3D relativi alle parti meccaniche (corone, pedali e cuscinetti) e il generatore elettrico verranno tracciati facendo riferimento a prodotti preesistenti in vendita sul web (figura 157); mentre, invece, le catene previste sono tutte della stessa tipologia che normalmente viene impiegata per le biciclette più comuni.



Figura 157.a-Immagine con le quote delle corone selezionate (Sinistra e Centro: VXM; Destra: VG Sports)

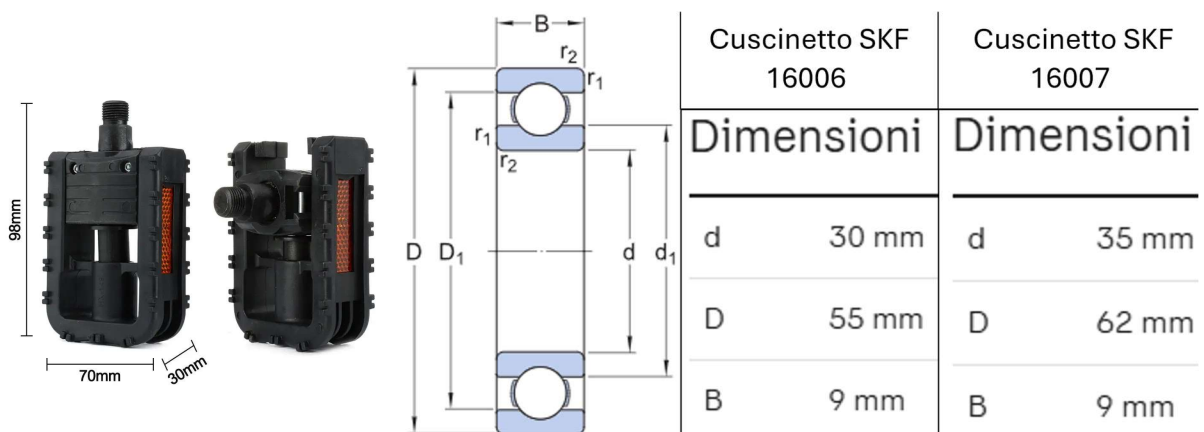


Figura 157.b-Immagine con le quote dei pedali e dei cuscinetti selezionati (Sinistra: CN; Destra: SKF)

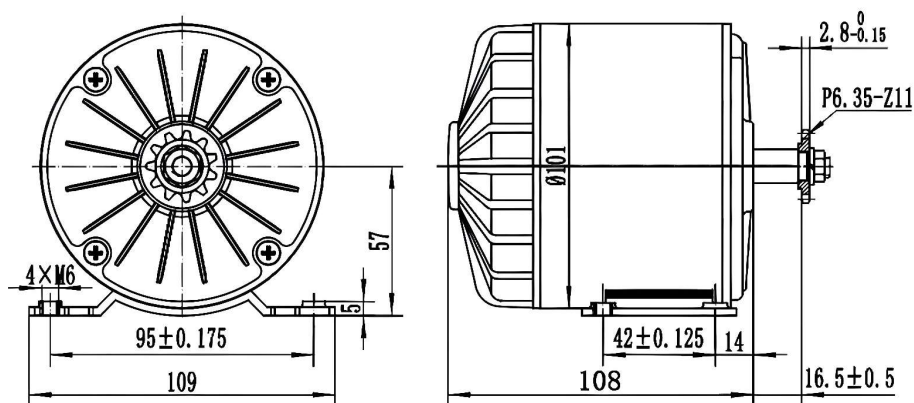
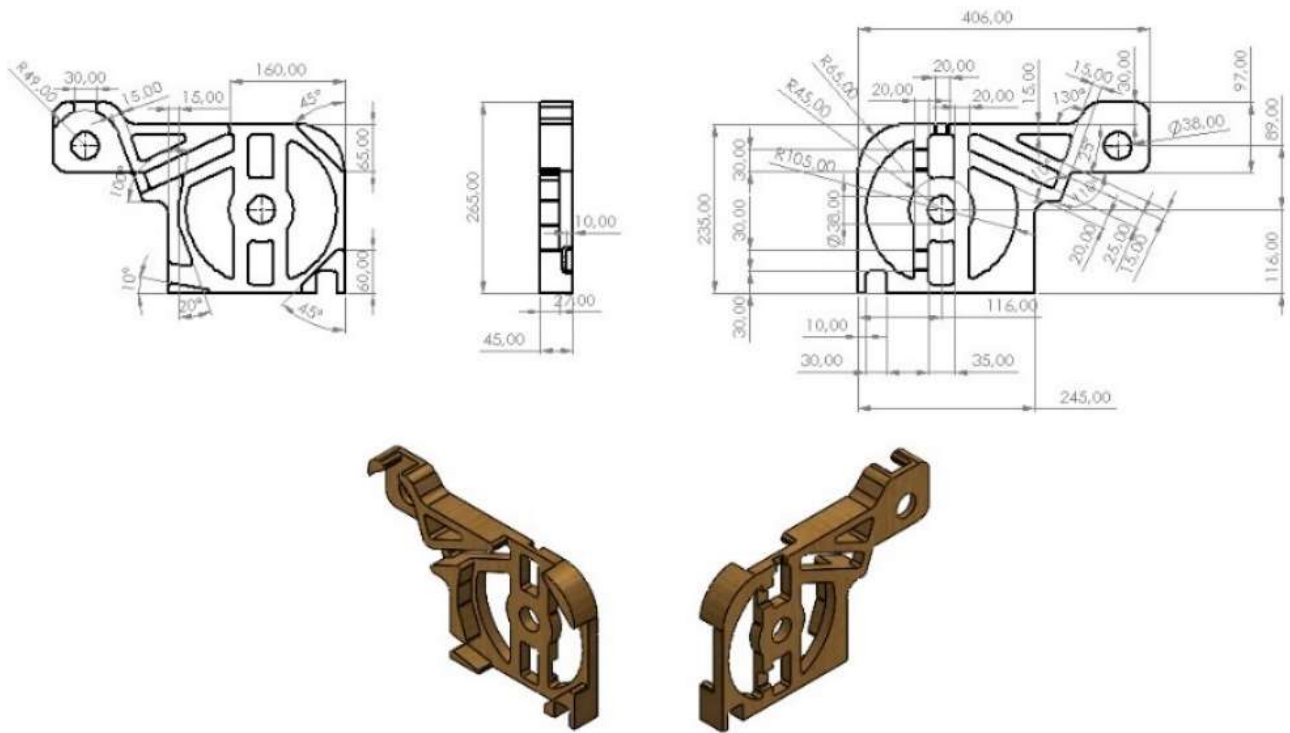


Figura 157.c-Disegno con le quote del motore elettrico selezionato (CNCEST)



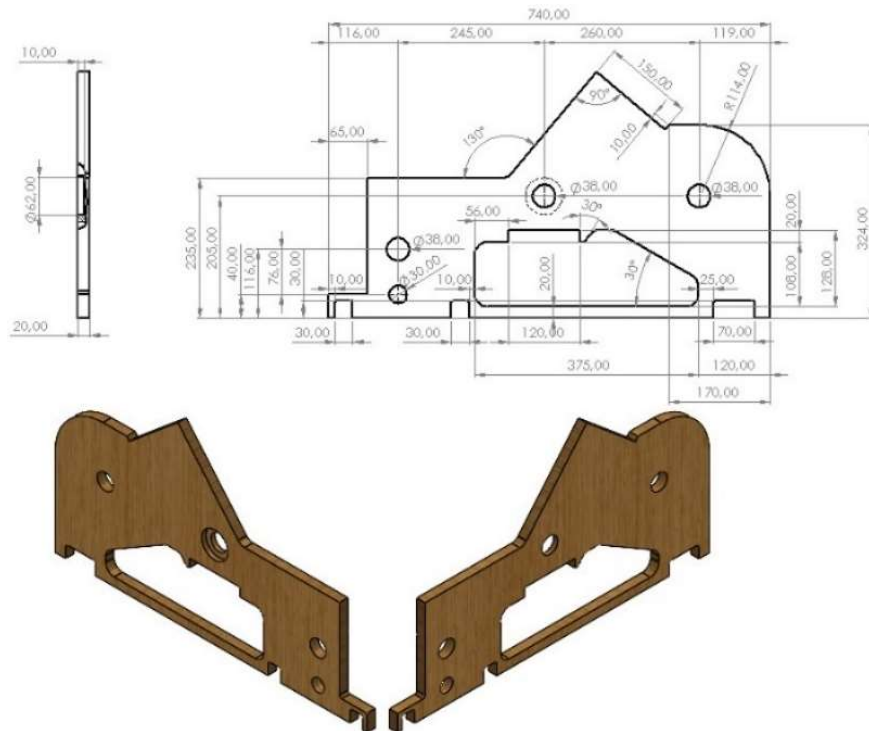




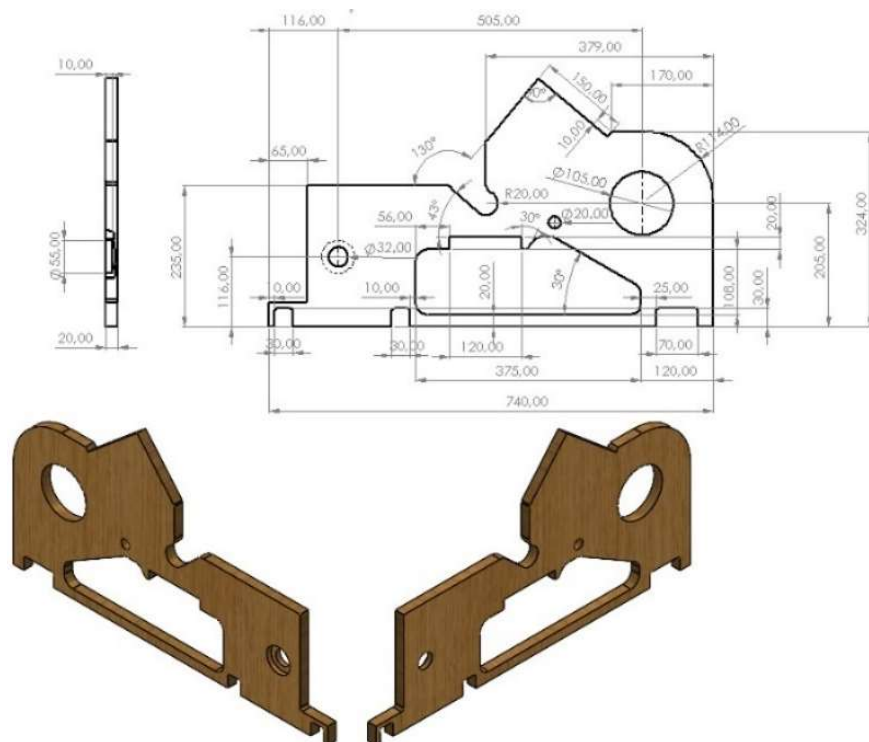
**Figura 160-Disegno e modello tridimensionale dello scheletro di sinistra**

### 7.2.1.2-Pannelli Laterali

Il telaio viene completato servendosi di quattro pannelli sagomati per poter ospitare i cuscinetti indispensabili per il movimento di tutti gli alberi, assistiti ovviamente dallo scheletro in questa mansione. In aggiunta poi ad un ruolo prettamente estetico, eseguono una funzione secondaria di custodia, vale a dire di protezione e prevenzione delle parti meccaniche dagli agenti esterni.



**Figura 161-Disegno e modello tridimensionale del primo pannello di destra**



**Figura 162-Disegno e modello tridimensionale del secondo pannello di destra**

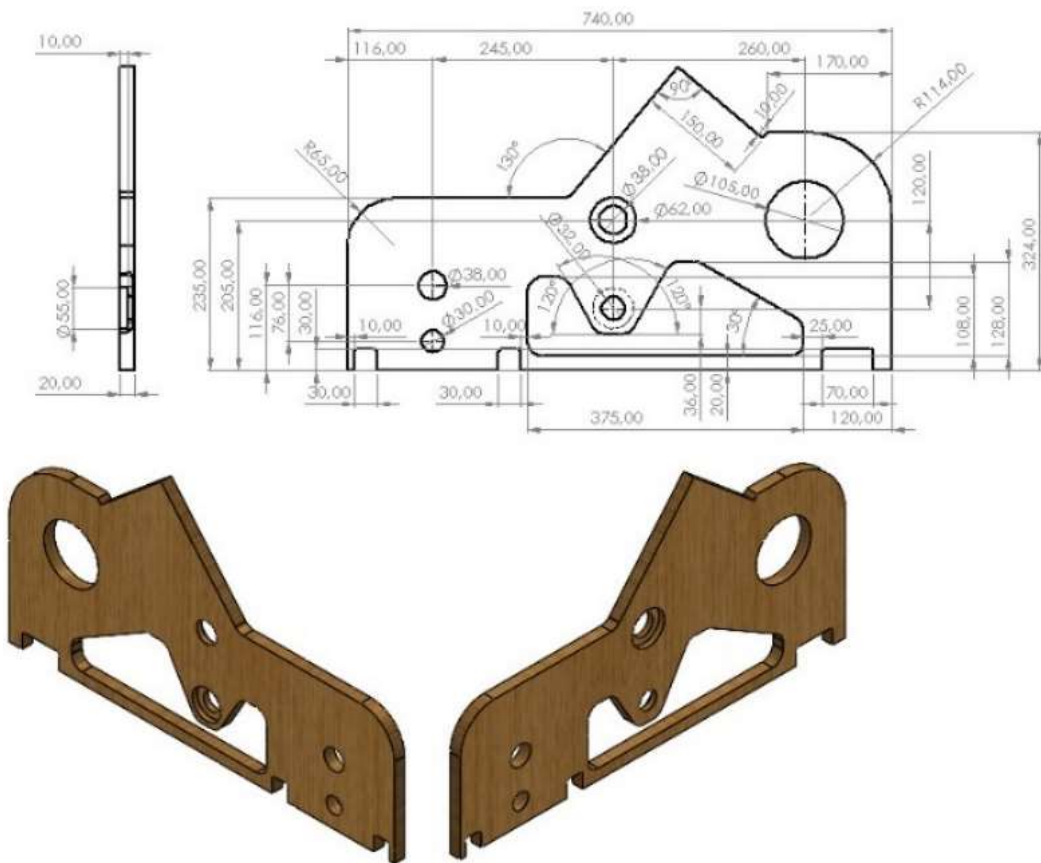


Figura 163-Disegno e modello tridimensionale del primo pannello di sinistra

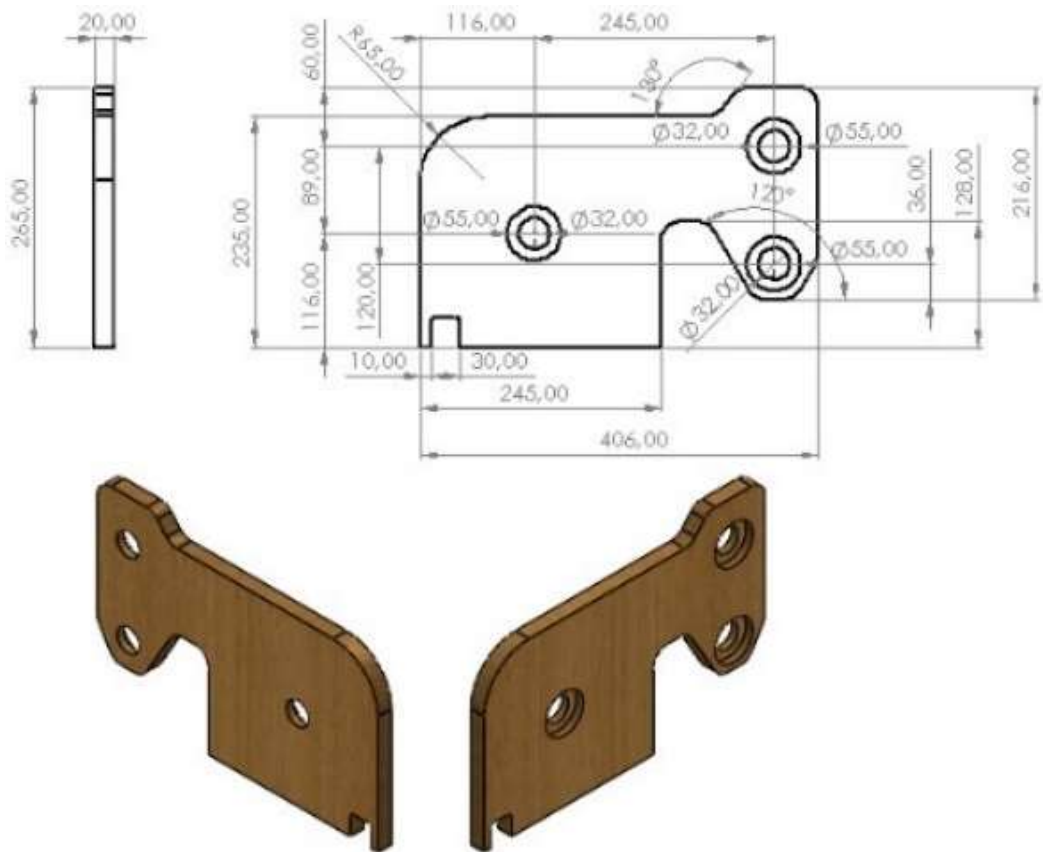
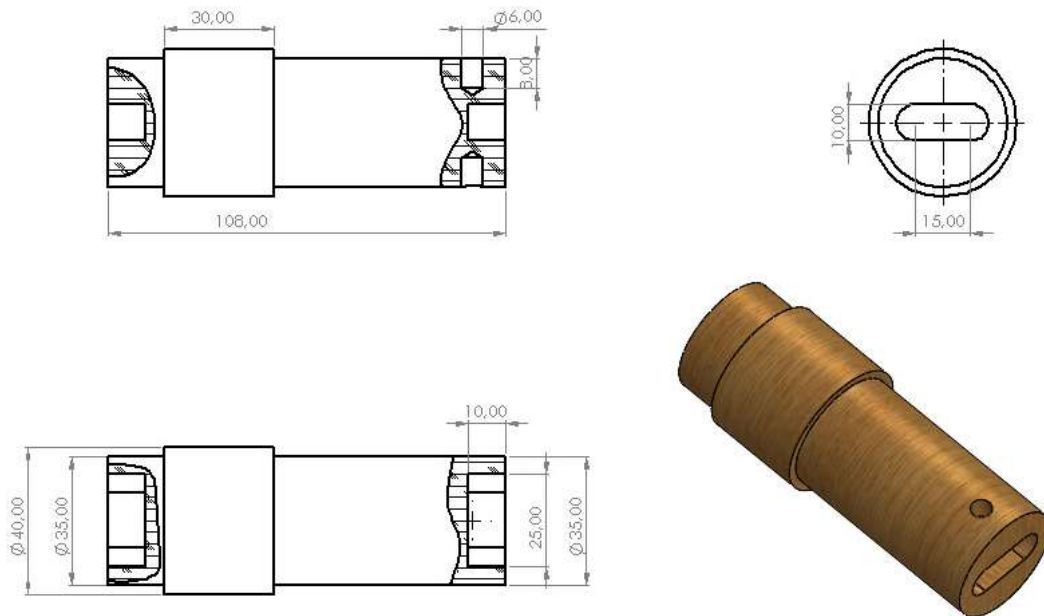


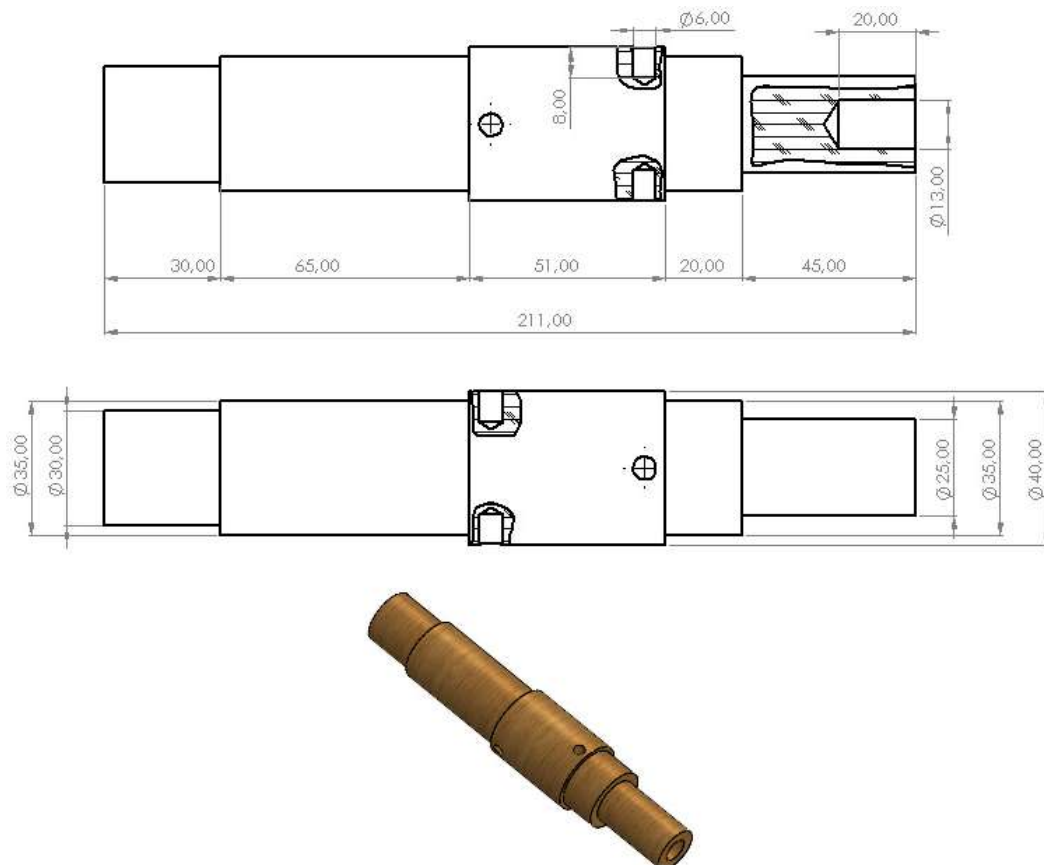
Figura 164-Disegno e modello tridimensionale del secondo pannello di sinistra

### 7.2.1.3-Alberi

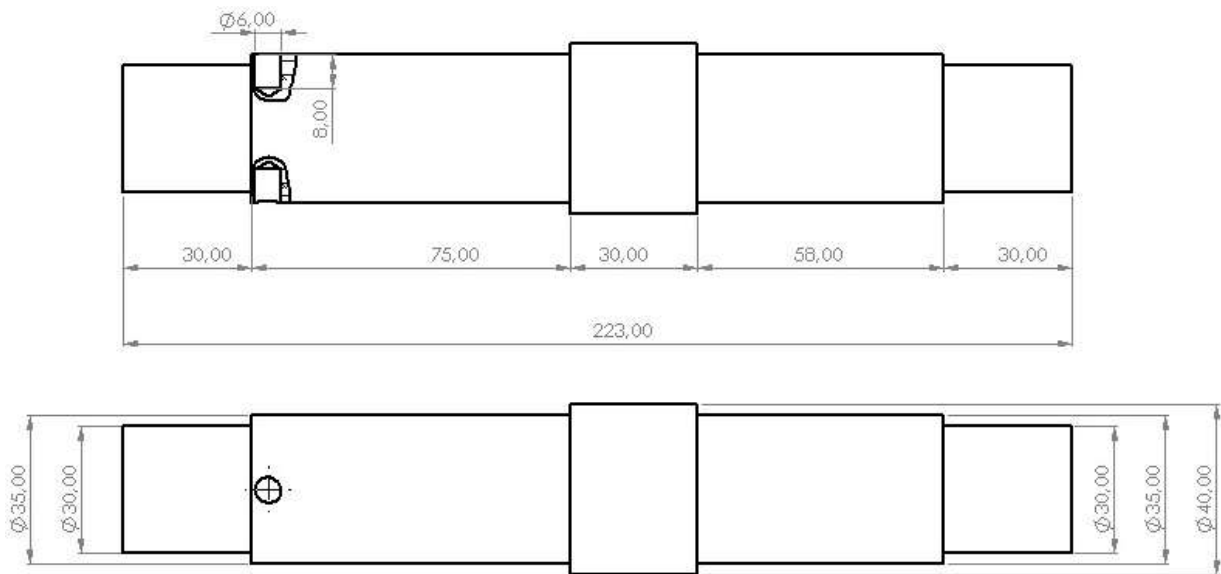
Per la trasmissione del moto sono presenti dagli alberi sui quali vengono calettate tutte le parti mobili del sistema: le pedivelle con i pedali, le corone, il volano ed infine il motore-generatore elettrico. Essi devono garantire un moto rotatorio essenziale per sviluppare il rapporto di trasmissione richiesto dal generatore elettrico.



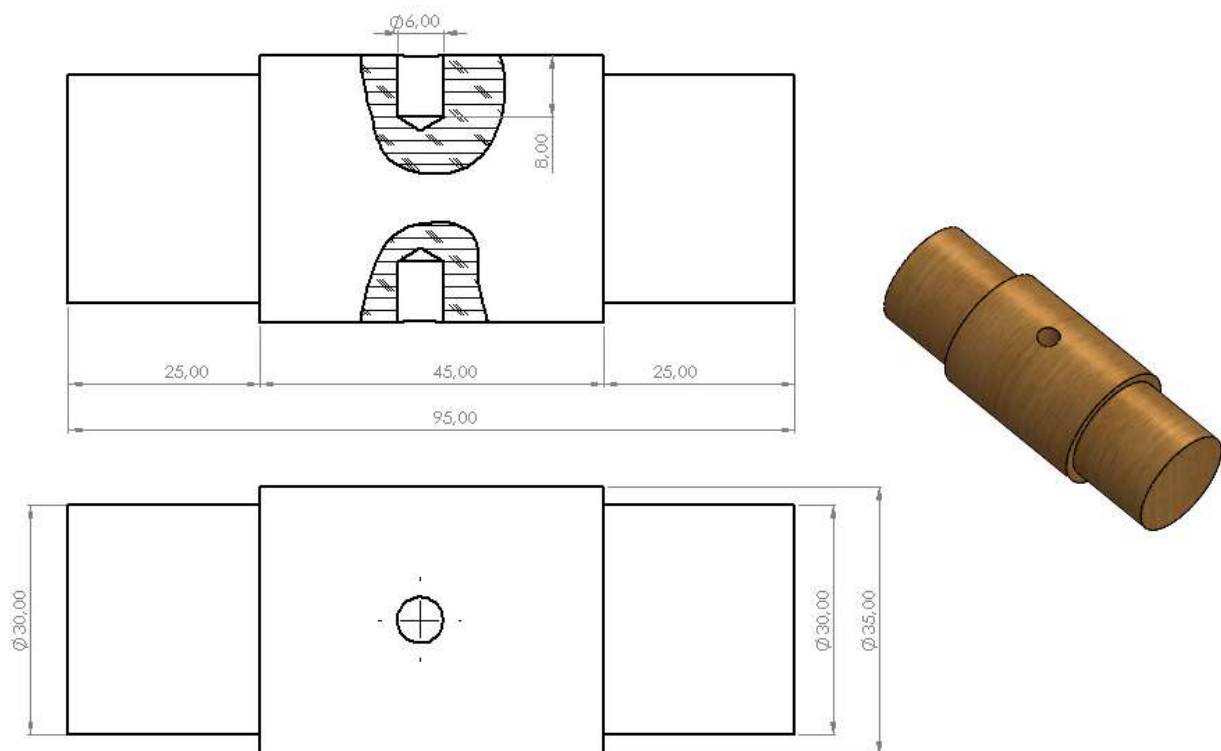
**Figura 165-Disegno e modello tridimensionale del primo**



**Figura 166-Disegno e modello tridimensionale del secondo albero**



**Figura 167-Disegno e modello tridimensionale del terzo**



**Figura 168-Disegno e modello tridimensionale del quarto albero**

#### 7.2.1.4-Volano

Il volano è realizzato unendo tra loro alcuni pannelli di legno che poi dovranno essere tagliati in un secondo momento in modo tale da ricavare un disco di spessore e diametro opportuni, mentre per il calettamento sull'albero sono state previste delle spine, in legno o metallo, da incastrare in fori predisposti sui lati dello stesso.

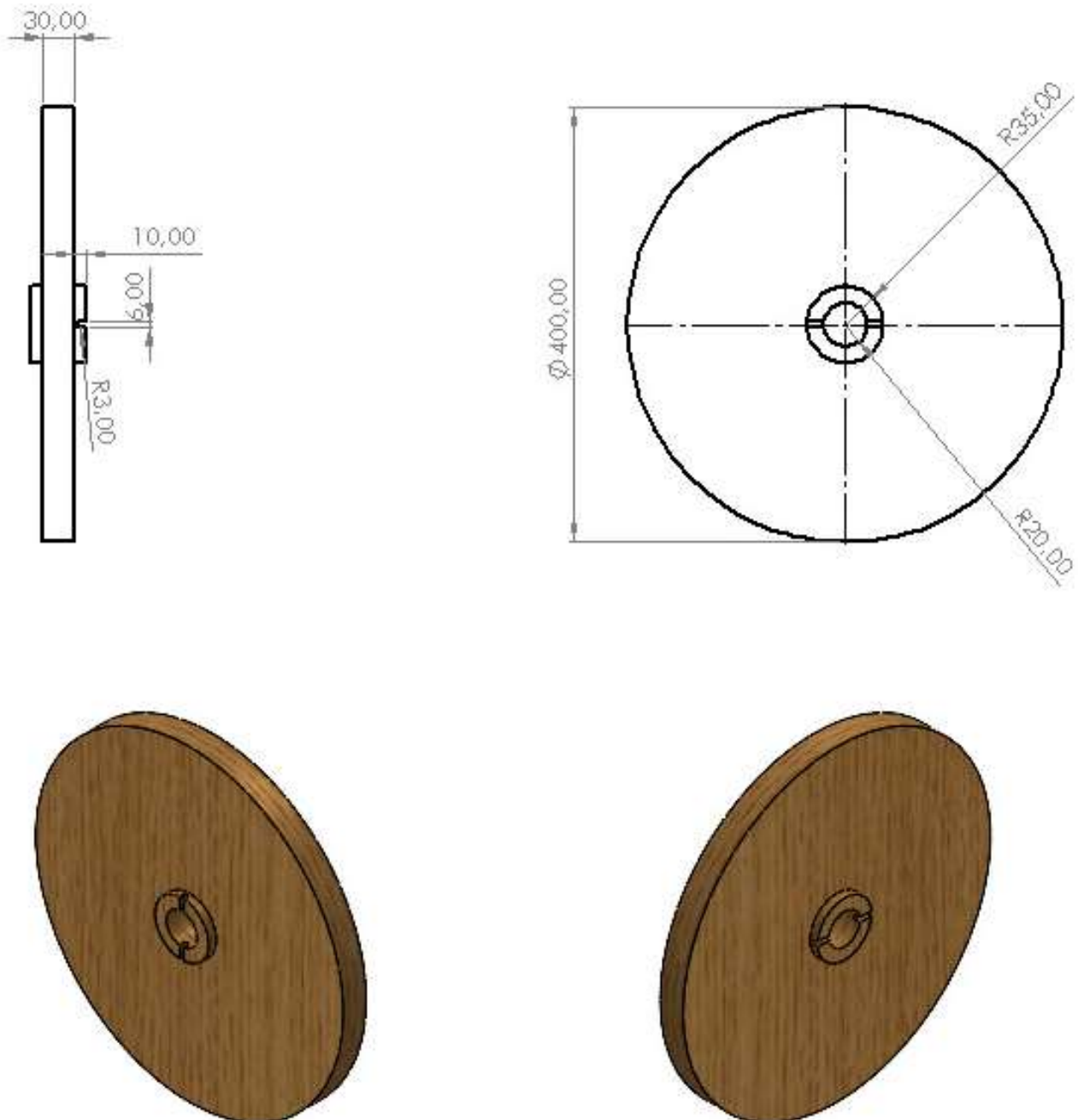
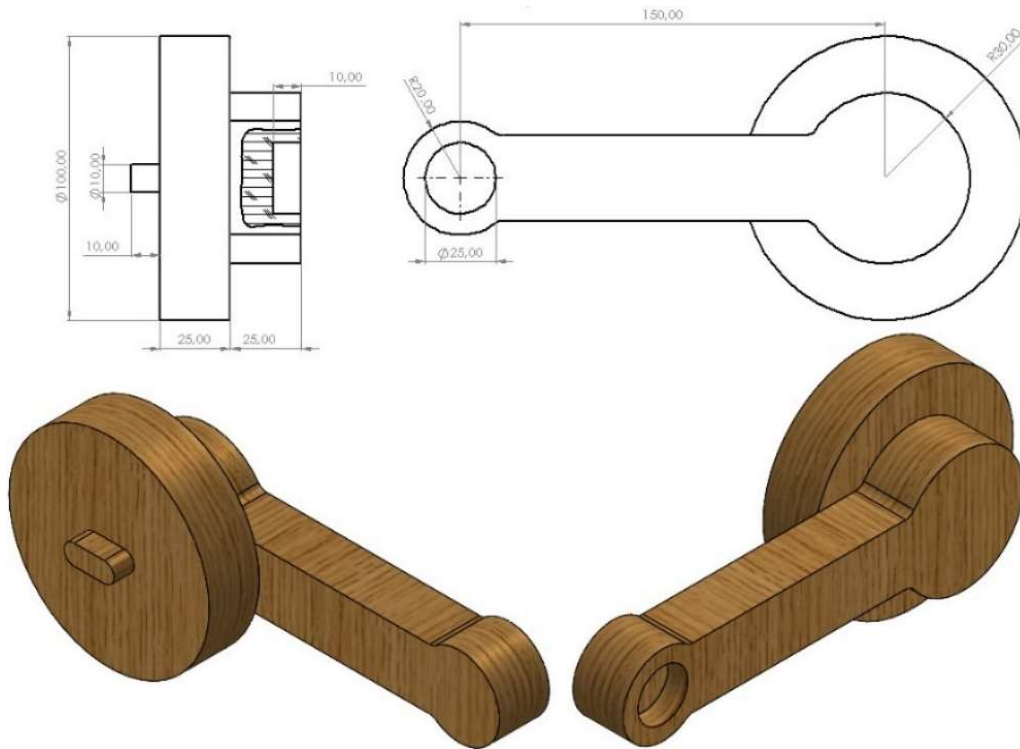


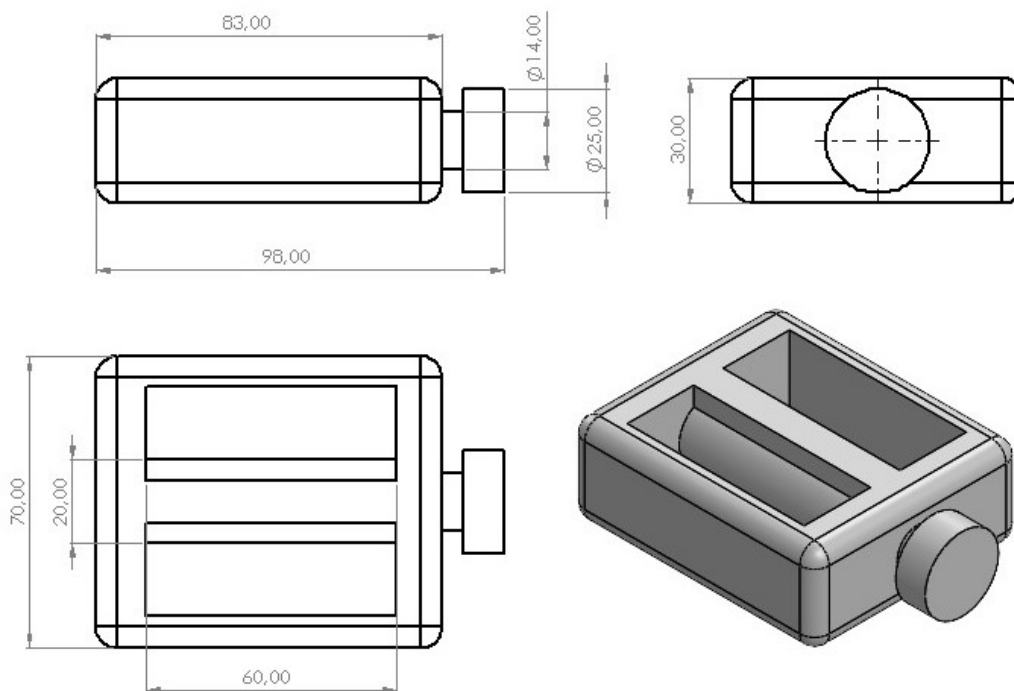
Figura 169-Disegno e modello tridimensionale del volano

### 7.2.1.5-Pedivelle e Pedali

Rimanendo fedele al tema del fai-da-te anche le pedivelle verranno realizzate in legno, soprattutto per semplificare notevolmente la loro integrazione con il resto della trasmissione meccanica del macchinario, data l'elevata incompatibilità delle soluzioni già esistenti sul mercato con il tipo di design scelto per questo progetto. Invece per quanto concerne i pedali si è preferito adottarne un paio recuperato da qualche vecchia bicicletta dismessa, o eventualmente acquistarli nuovi.



**Figura 170-Disegno e modello tridimensionale della pedivella**

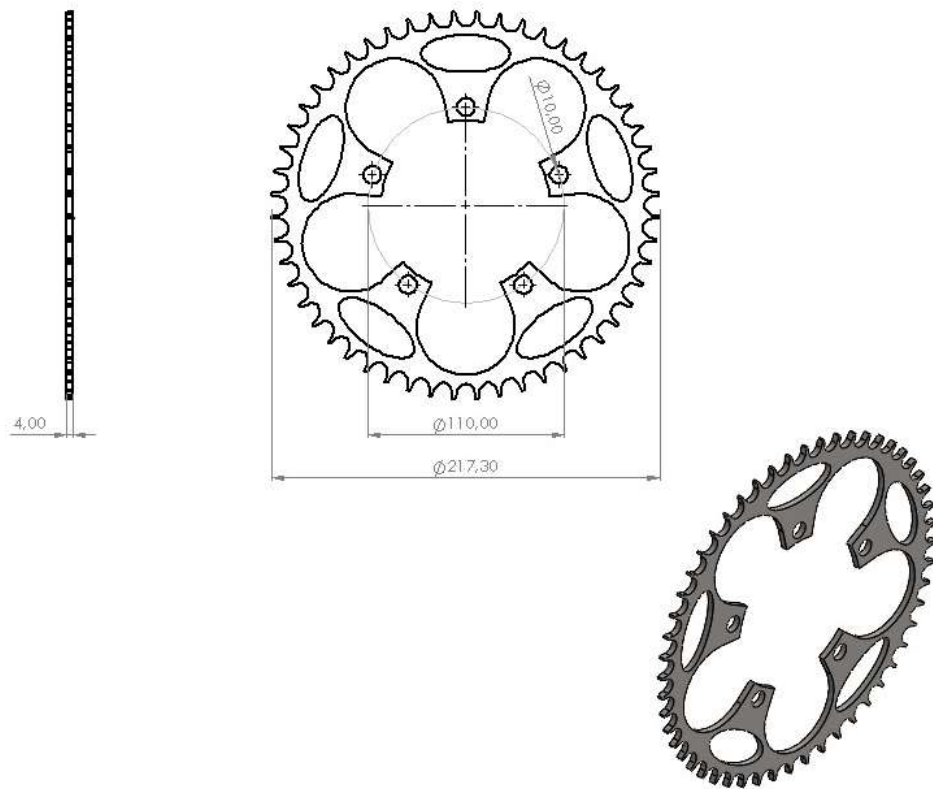


**Figura 171-Disegno e modello tridimensionale di un generico pedale**

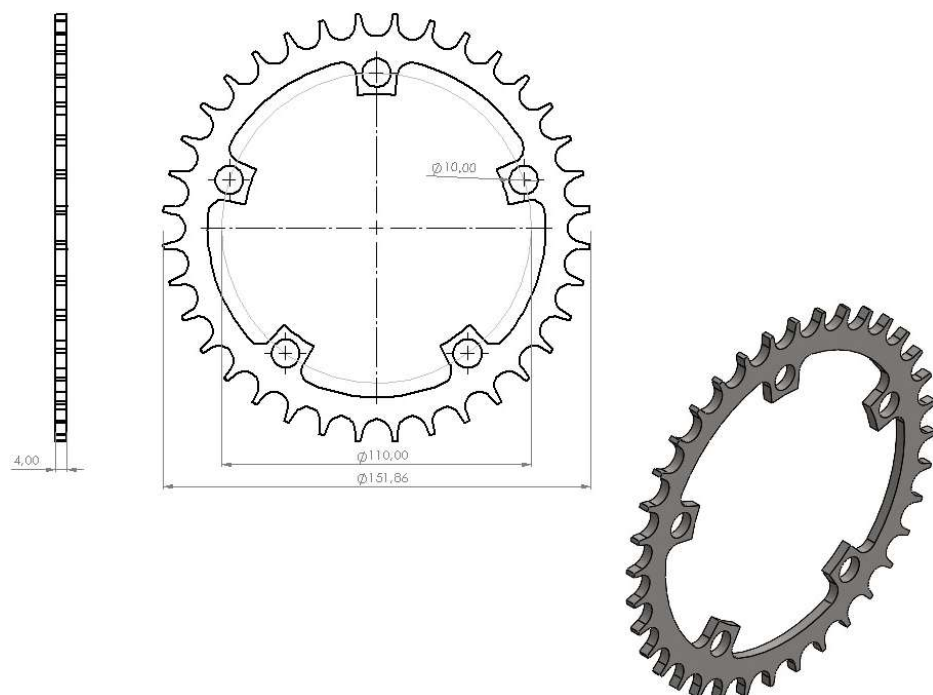


### 7.2.1.6-Corone e Supporto-Corone

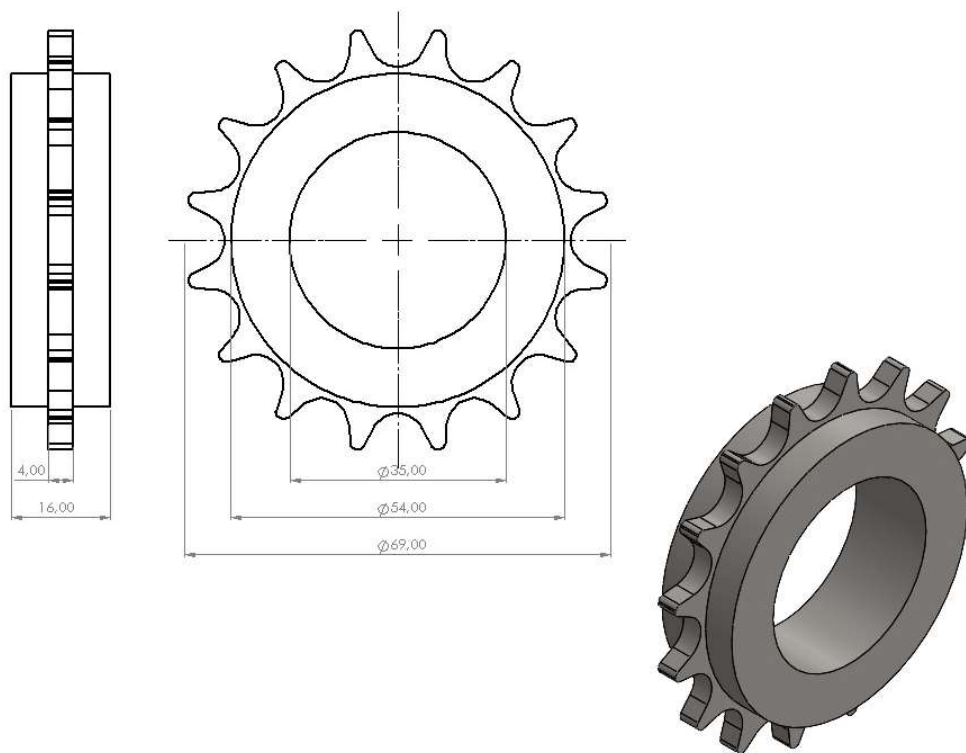
Le corone e le ruote libere dentate fanno parte di quei componenti che devono essere recuperati, o acquistati nuovi, insieme alle catene, ai pedali, al motore elettrico e ai cuscinetti. In aggiunta per poterle effettivamente sfruttare, nello specifico le ruote da 52 e 36 denti, sono stati previsti dei supporti che hanno il compito di collegare le suddette corone ai relativi alberi.



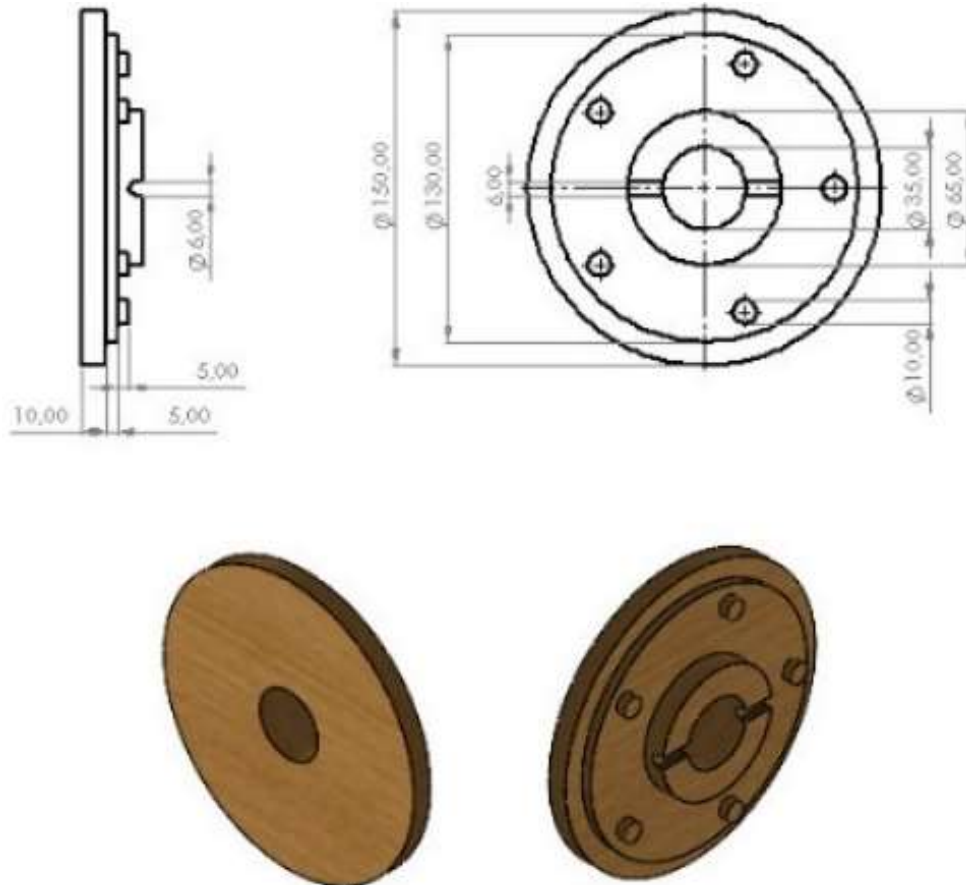
**Figura 172-Disegno e modello tridimensionale della corona con 52 denti**



**Figura 173-Disegno e modello tridimensionale della corona con 36 denti**



**Figura 174-Disegno e modello tridimensionale della corona-ruota libera con 16 denti**



**Figura 175-Disegno e modello tridimensionale supporto per corone**

### 7.2.1.7-Catene

Gli ultimi elementi adibiti alla trasmissione della potenza muscolare sono ovviamente le catene e dal momento che il rapporto di trasmissione richiesto è abbastanza elevato sono richieste un totale di tre esemplari di lunghezze differenti.

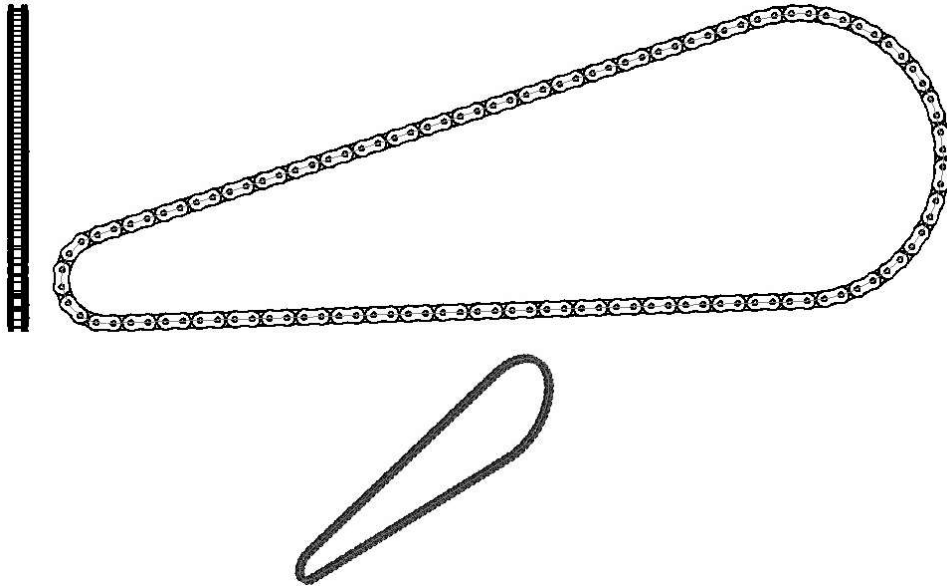


Figura 176-Disegno e modello tridimensionale della prima catena

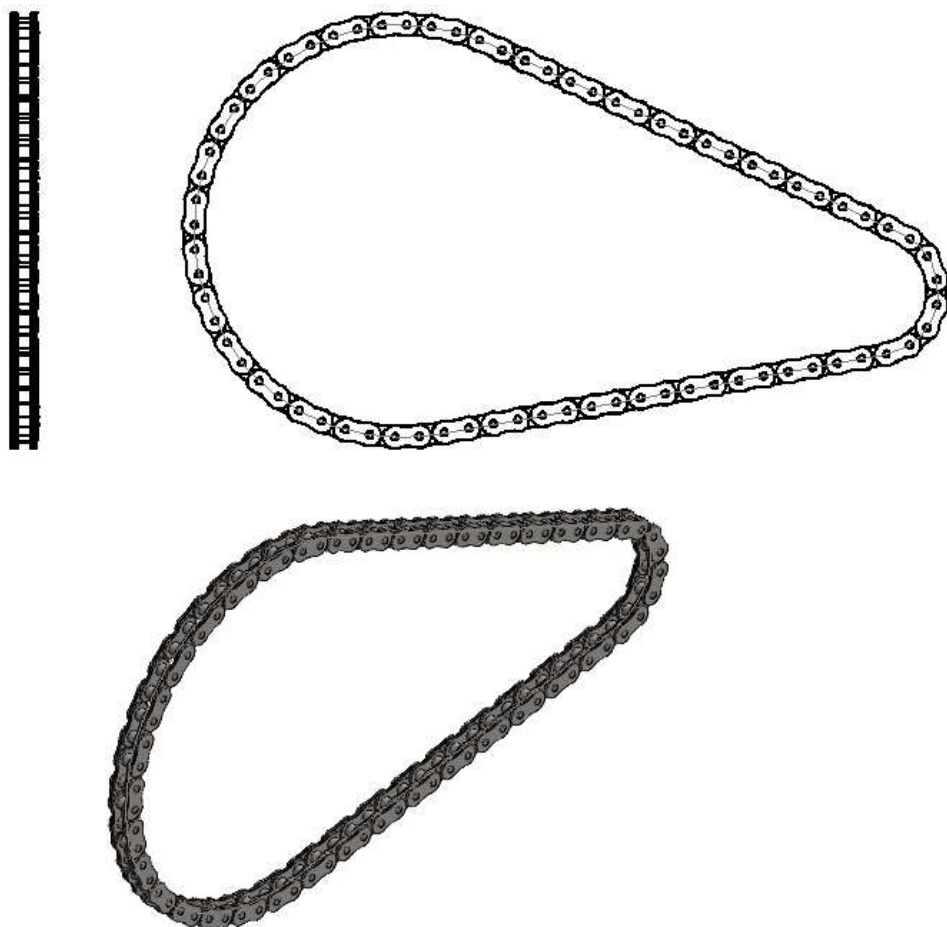


Figura 177-Disegno e modello tridimensionale della seconda catena

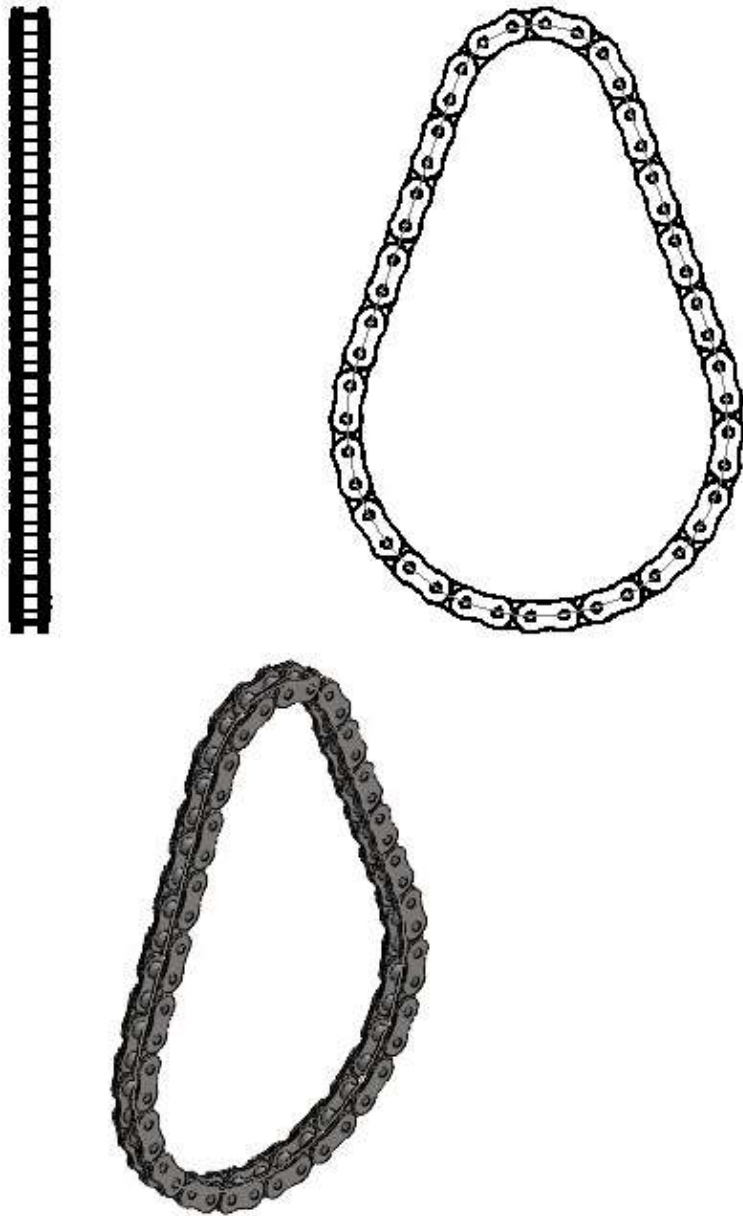
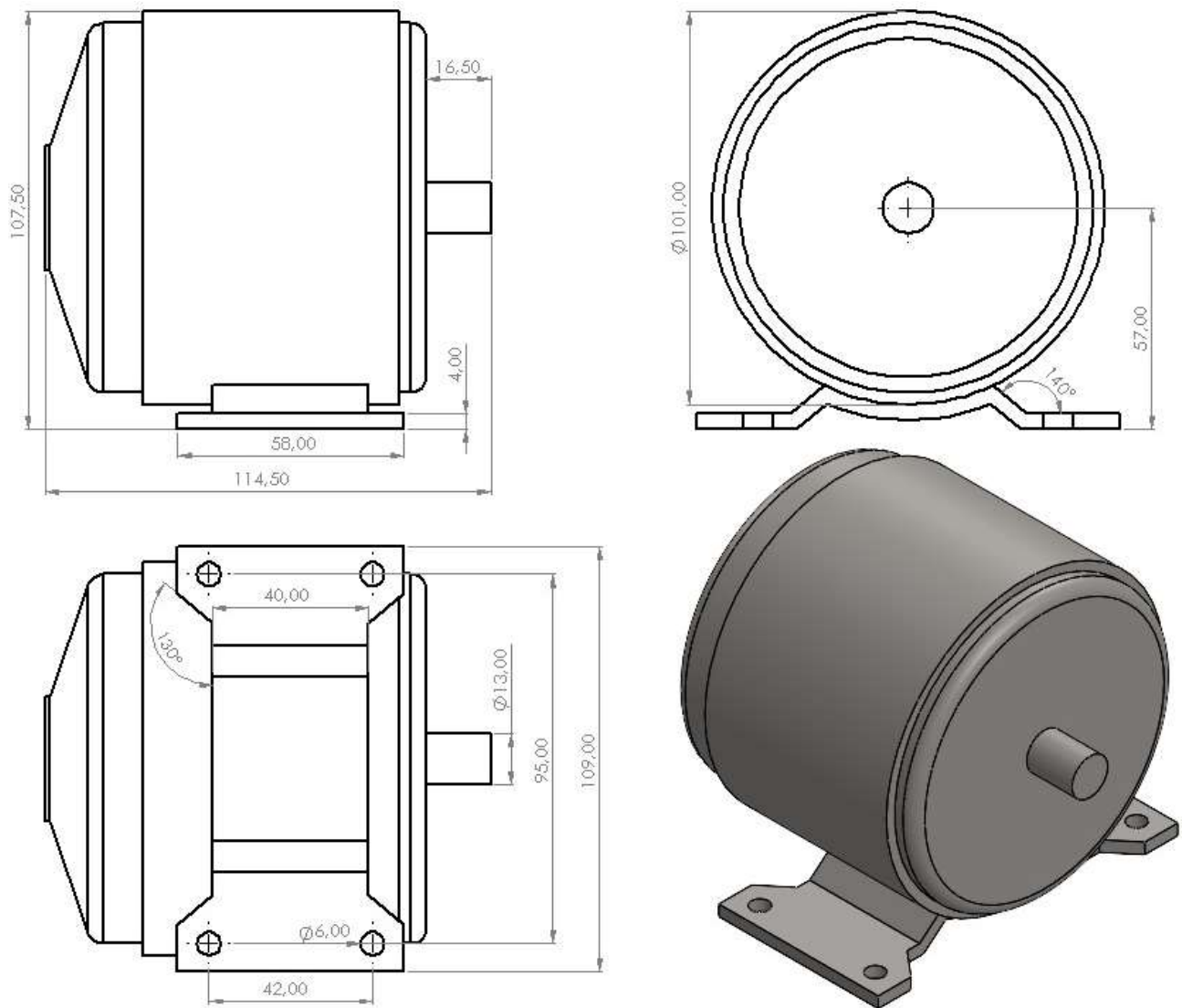


Figura 178-Disegno e modello tridimensionale della terza catena

### 7.2.1.8-Generatore Elettrico

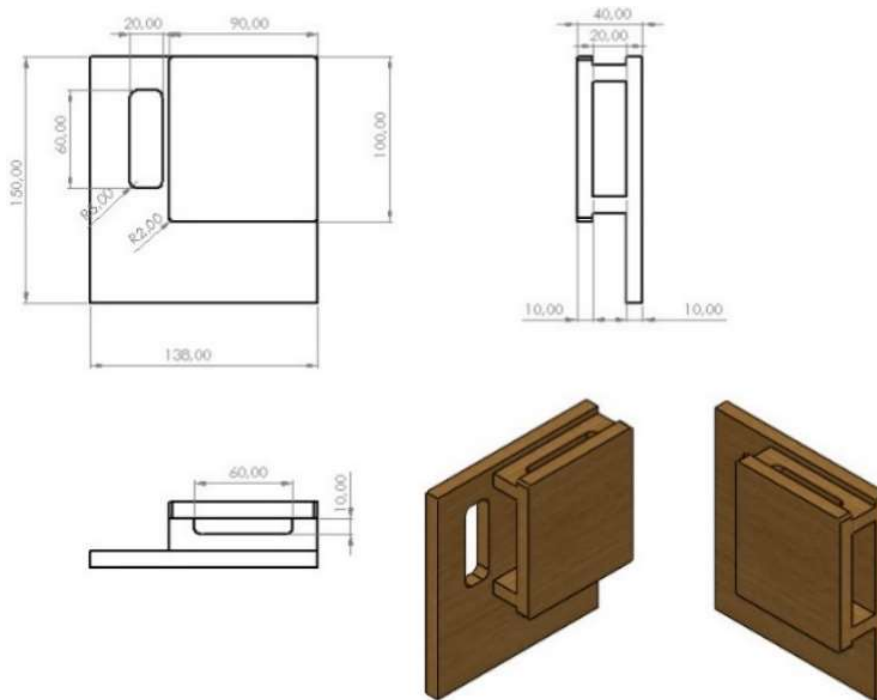
Il generatore elettrico è stato modellato basandosi sui disegni tecnici forniti dal costruttore.



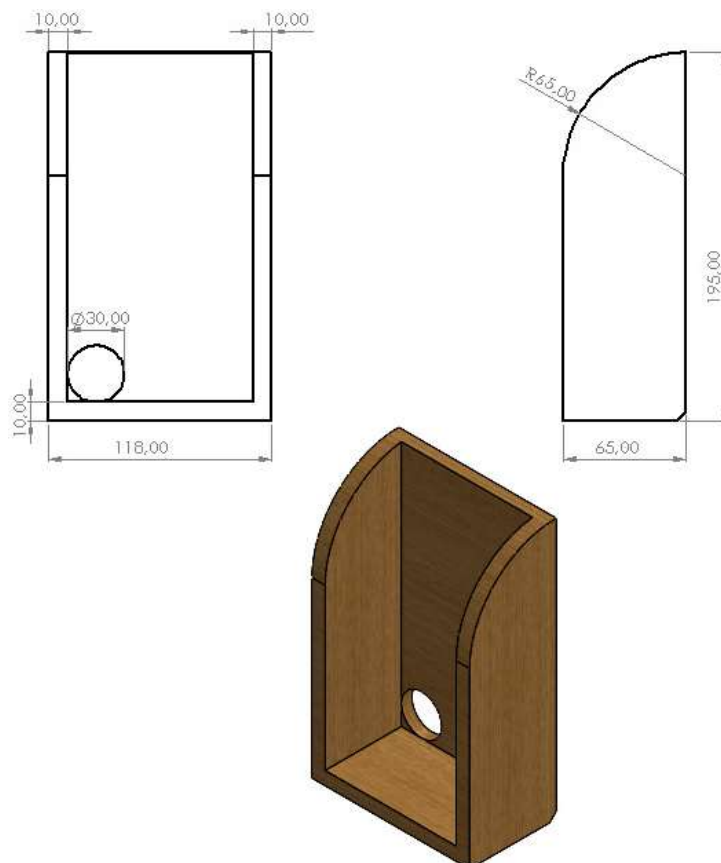
**Figura 179-Disegno e modello tridimensionale del generatore elettrico**

### 7.2.1.9-Pannello di Controllo e Cassetta della Componentistica Elettronica

La componentistica elettronica e la relativa unità di controllo del dispositivo vengono ospitate da due contenitori appositamente adibiti a questo compito.



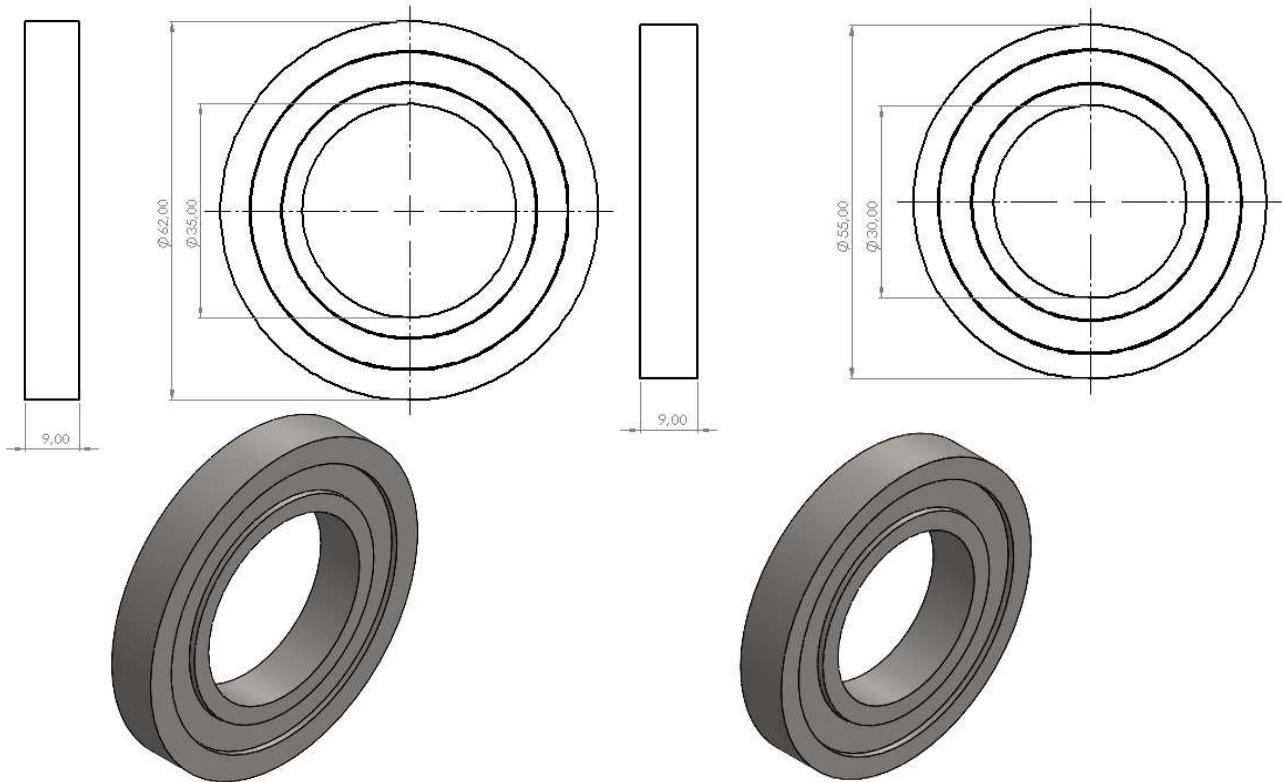
**Figura 180-Disegno e modello tridimensionale del pannello di controllo**



**Figura 181-Disegno e modello tridimensionale della cassetta della componentistica elettrica**

### 7.2.1.10-Cuscinetti

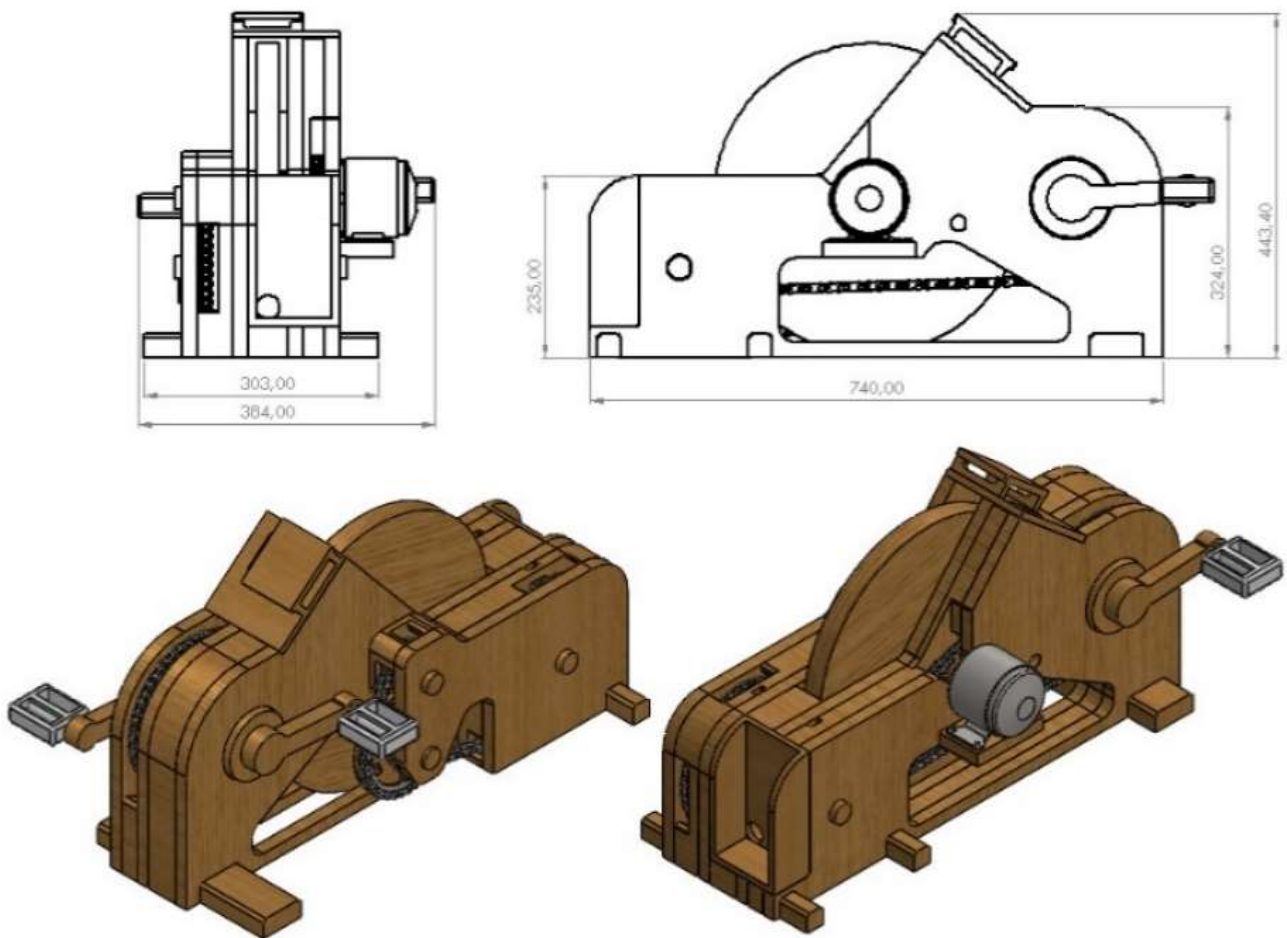
I cuscinetti sono essenziali per il corretto funzionamento del dispositivo, poiché permettono agli alberi di ruotare senza sfregare contro le loro sedi di sostegno. In tutto sono necessari 11 cuscinetti, 6 cuscinetti modello SKF 16007 e 5 cuscinetti modello SKF 16006.



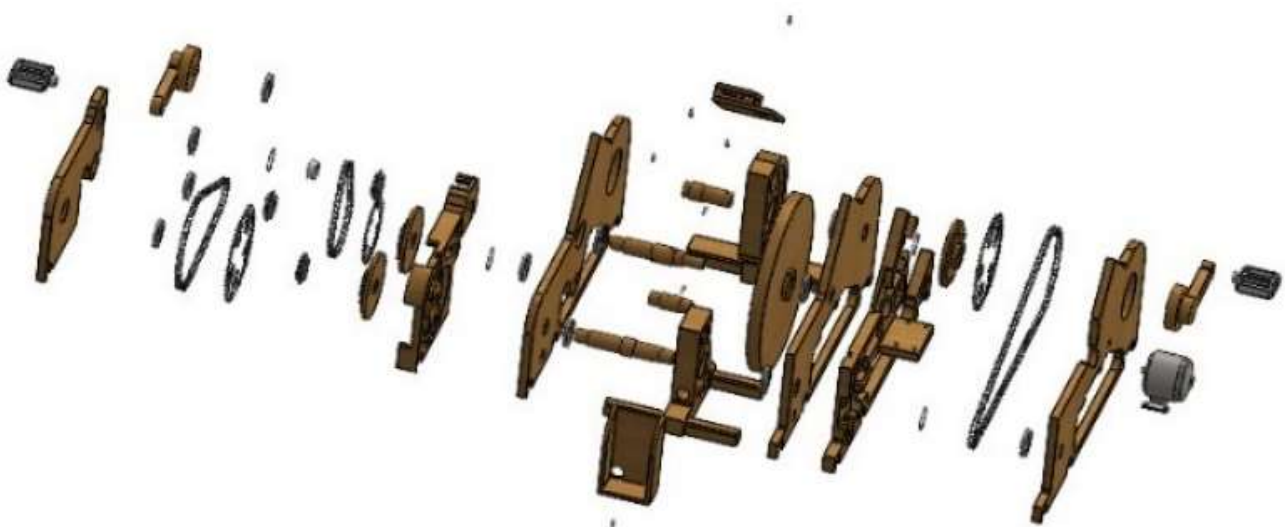
**Figura 182-Disegno e modello tridimensionale dei cuscinetti SKF 16007 (Sinistra) e SKF 16006 (Destra)**

### 7.2.1.11-Assieme

Assemblando infine tutte le parti con l'ausilio di colla, viti, chiodi o anche solo incastrandole tra loro, si ottiene l'assieme finale, vale a dire il prototipo che è stato immaginato.



**Figura 183-Disegno e modello tridimensionale del generatore elettrico a pedali**



**Figura 184-Vista esplosa dell'assieme del generatore elettrico a pedali**



## 8-Conclusione

La validità e le reali prestazioni del modello, elaborato nel corso dello studio condotto finora, possono essere verificate impiegandolo nel contesto stabilito inizialmente: generare sufficiente energia per alimentare una postazione multimediale e contemporaneamente realizzare dirette streaming sul web, con l'intenzione di sensibilizzare le persone sulle tematiche della sostenibilità. Perciò, il possibile proposito futuro è di riuscire a soddisfare questo requisito operativo, per dimostrare, inoltre, l'idoneità del progetto in applicazioni che coinvolgano l'uso di un computer, o di un altro dispositivo elettronico. Quindi, in altre parole, qualsiasi attività che svolge mansioni simili a quelle che caratterizzano la quotidianità di un comune ufficio, ma in modo meno frenetico e faticoso, così da instaurare delle condizioni lavorative più sane, che migliorino il benessere mentale e fisico dell'utilizzatore. Questo discorso, comunque, lo si può estendere a tutte le macchine appropriate, anche a quelle ad azionamento meccanico diretto. Tuttavia, il tipo di tecnologia (intermedia) trattato in questa tesi, non è in grado di apportare alcun incremento della produttività, se viene mantenuto invariato l'attuale stile di vita della società occidentale. Può invece offrire un'alternativa più sostenibile e salutare, a patto che sia supportata da un cambio di mentalità da parte dei singoli individui, che dovranno puntare ad una riconsiderazione delle proprie priorità; il rinnovamento deve nascere dalle persone, poiché la tecnologia non può riuscirci da sola. In altre parole, l'intenzione del prototipo che è stato concepito è quello di instaurare un dialogo incentrato sull'esigenza di infondere e divulgare una maggiore consapevolezza sulle conseguenze delle proprie azioni, sia come singolo individuo, ma soprattutto come collettività. La tutela dell'ambiente è un argomento che in una società moderna e industrializzata non può assolutamente essere trascurato, per il semplice fatto che il modo in cui viene affrontato determinerà le condizioni climatiche e la disponibilità delle risorse primarie che verranno ereditate dalle generazioni future. La soluzione proposta, data l'irreversibilità della scoperta dell'elettricità (e delle tecnologie elettroniche derivate da essa), si adatta egregiamente al servizio delle esigenze moderne, che prevedono una diffusione sempre maggiore della "mondo digitale". In definitiva, questa indagine si colloca nell'ottica di una crescita e una comunicazione sostenibili, orientate a porre i bisogni effettivi dell'essere umano al centro delle ricerche, considerandoli una priorità e un punto di riferimento dello sviluppo tecnologico, in stretta correlazione con l'ambiente in cui vive.

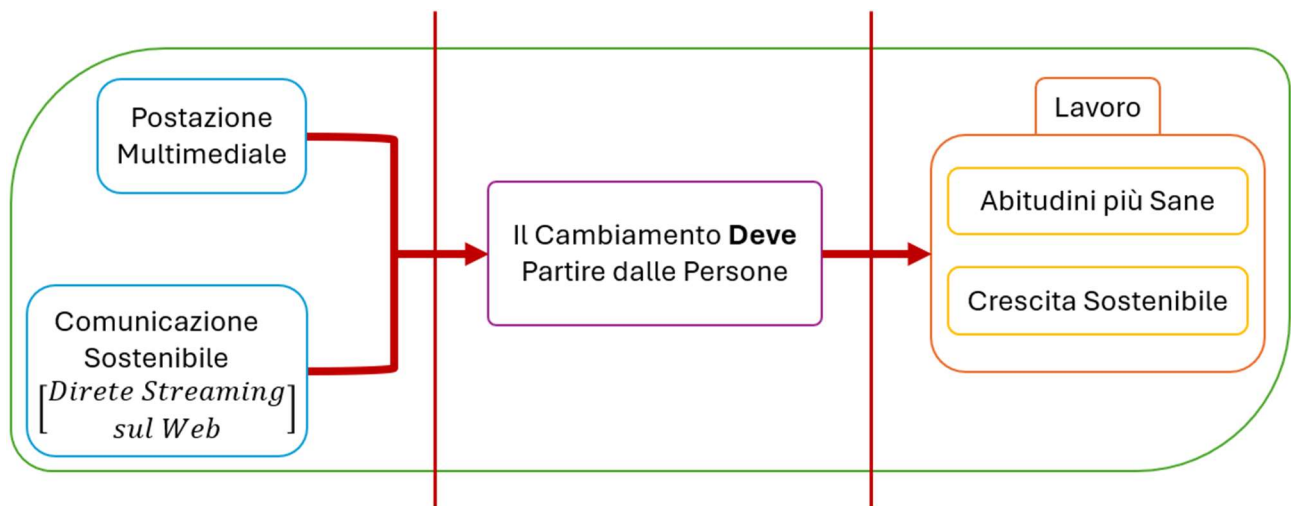


Figura 185-Schema delle considerazioni finali

## 9-Bibliografia

- Arduino, “20W Adjustable DC-DC Buck Converter with Digital Display”, <https://store.arduino.cc/products/20w-adjustable-dc-dc-buck-converter-with-digital-display>
- Battery University (2016), “Can the Lead-acid Battery Compete in Modern Times?”. <https://batteryuniversity.com/article/can-the-lead-acid-battery-compete-in-modern-times>
- Bishop Robert, “The Mechatronics Handbook”. CRC Press, 2002.
- Bricolegnostore, “Tondo in legno di Pino Svedese Diametro 40 x 2100 mm”, <https://www.bricolegnostore.it/cornici-angolari-paraspigoli-fermavetro-tondi-per-falegnameria/cornici-coprispigoli-angolari-in-pino/tondo-in-legno-di-pino-svedese-diametro-40-x-2100-mm-detail.html>
- Bricoportale (2020), “Generatore di corrente fai da te | Costruzione con oggetti di recupero”. [https://www.bricoportale.it/fai-da-te/costruzioni-fai-da-te/macchine/generatore-di-corrente-fai-da-te/?amp=1#Come\\_costruire\\_un\\_generatore\\_di\\_corrente\\_fai\\_da\\_te](https://www.bricoportale.it/fai-da-te/costruzioni-fai-da-te/macchine/generatore-di-corrente-fai-da-te/?amp=1#Come_costruire_un_generatore_di_corrente_fai_da_te)
- Brikbikes (2013), “De werking van de cardanas”, <https://www.youtube.com/watch?v=YAr4sVwD34o>
- Bryce Robert, “A Question of Bower, Electricity and the Wealth of Nations”, PublicAffairs, 2020, ISBN 978-1-61-039749-0.
- CyrilB~commons wiki (2006), “Buck chronogram & Buck chronogram discontinuous”, Wikipedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Buck\\_chronogram.svg#mw-jump-to-license](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Buck_chronogram.svg#mw-jump-to-license); [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Buck\\_chronogram\\_discontinuous.png#mw-jump-to-license](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Buck_chronogram_discontinuous.png#mw-jump-to-license)
- Czap Nick (2008), SFGATE, “Stationary bike designed to create electricity”. <https://www.sfgate.com/homeandgarden/article/stationary-bike-designed-to-create-electricity-3272208.php>
- De Decker Kris (2011), “The Short History of Early Pedal Powered Machines”. <https://solar.lowtechmagazine.com/2011/05/the-short-history-of-early-pedal-powered-machines/>.
- De Decker Kris (2011), “Pedal Powered Farms and Factories: The Forgotten Future of the Stationary Bicycle”. <https://solar.lowtechmagazine.com/2011/05/pedal-powered-farms-and-factories-the-forgotten-future-of-the-stationary-bicycle/>
- De Decker Kris (2011), “Bike Powered Electricity Generators are Not Sustainable”. <https://solar.lowtechmagazine.com/2011/05/bike-powered-electricity-generators-are-not-sustainable/>
- De Decker Kris (2022), “How to Build a Practical Household Bike Generator”. <https://solar.lowtechmagazine.com/2022/03/how-to-build-a-practical-household-bike-generator/>
- Beckmann Curt (2008), APPROPEDIA, “Standard bicycle with pedal power attachment”. [https://www.appropedia.org/Standard\\_bicycle\\_with\\_pedal\\_power\\_attachment](https://www.appropedia.org/Standard_bicycle_with_pedal_power_attachment)
- CN, “Pedali Pieghevoli Type 2”, AliExpress, [1 paio di pedali pieghevoli E-bike piattaforma di Refitting antiscivolo pedale parti di Scooter accessori per biciclette elettriche forniture per ciclismo - AliExpress 18](https://www.aliexpress.com/item/1paio-di-pedali-pieghevoli-E-bike-piattaforma-di-Refitting-antiscivolo-pedale-parti-di-Scooter-accessori-per-biciclette-elettriche-forniture-per-ciclismo-/18)

CNCEST, “Brushed 36V DC Electric Motor, Model: MY1016”, AliExpress, [Generatore di motore magnetico permanente DC 350W per turbine eoliche 36V 11 velocità risparmio energetico e protezione ambientale - AliExpress 1420](#)

Coast JR., Cox RH., Welch HG., “Optimal pedalling rate in prolonged bouts of cycle ergometry”. Med Sci Sports Exerc 1986,18(2):225-30. PMID: 3702651, [Optimal pedalling rate in prolonged bouts of cycle ergometry - PubMed \(nih.gov\)](#)

Cowie C.J. (2006), “Simple Inverter Configuration”, Wikipedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inverter\\_ckt\\_01cjc.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inverter_ckt_01cjc.png)

Domyos, “Volano VM E FOLD 6”, Decathlon, [https://www.decathlon.it/p/volano-vm-e-fold-6/\\_/R-p-X8330315](https://www.decathlon.it/p/volano-vm-e-fold-6/_/R-p-X8330315)

Eaton, “Fusibile a cartuccia 12A”, RS-online, <https://it.rs-online.com/web/p/fusibili-a-cartuccia/7038380>

Eco Renewable Energy. “Outdoor & Kiosk Premium”, <https://www.ecorenewableenergy.com.au/permanent-installations/wewatt/>

E-Ducativa Catedu, “Ruedas de fricción”, Pinterest, <https://it.pinterest.com/pin/52706258123401372/>

Electronics Tutorials, “RC Networks: RC Charging Circuit & RC Discharging Circuit”, [https://www.electronics-tutorials.ws/rc/rc\\_1.html](https://www.electronics-tutorials.ws/rc/rc_1.html); [https://www.electronics-tutorials.ws/rc/rc\\_2.html](https://www.electronics-tutorials.ws/rc/rc_2.html)

Elmer Steven J., Martin James C., “A cycling workstation to facilitate physical activity in office settings”, Applied Ergonomics 2014, Volume 45, Issue 4, Pages 1240-1246, ISSN 0003-6870, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.03.001>

ES Components, “Exhibit 2: Supercapacitor Construction”, FutureBridge, 2020, [Supercapacitors – A Viable Alternative to Lithium-Ion Battery Technology? \(futurebridge.com\)](#)

FFIME, “Diodo 6A”, Amazon, <https://www.amazon.it/FFIME-HER608-Diodo-1000-DO-27/dp/B0CDPWT7QB>

Fiamm-GS, “Caratteristica di Carica a Tensione Costante”, Manuale tecnico batterie al Piombo a ricombinazione interna, [https://www.elcoteam.com/attachment/get/27585/5f60bf7ed27d3233999710-Fiamm\\_Manuale\\_Tecnico.pdf](https://www.elcoteam.com/attachment/get/27585/5f60bf7ed27d3233999710-Fiamm_Manuale_Tecnico.pdf)

Franco W., Marchis V., Pozzi M., “Foot-Powered Machines, a Functional Taxonomy in the Age of Sustainability”. Machines 2023, 11, 855, <https://doi.org/10.3390/machines11090855>

Fridas, “Physics Class. Hydroelectric Power Plant. Potential Energy”, Adobe Stock, <https://stock.adobe.com/images/physics-class-hydroelectric-power-plant-potential-energy/472087652>

Fuller R.J., Aye L., “Human and animal power-The forgotten renewables”. Renewable Energy 2012, 48, pp. 326-332, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.054>

Gates, “Carbon Belt Drive”, ebike.bicilive.it, <https://ebike.bicilive.it/e-magazine/bike-news/carbon-drive-belt-approfondimento/>

Gene'sG (2021), Autodesk Instructables, “OpenErg Based Erg Rower Generator”. <https://www.instructables.com/OpenErg-Based-Erg-Rower-Generator/>

GMD, “Chiodi per legno”, eBay, <https://www.ebay.it/itm/255643591013>

Gregory Jim (2019), PedalPC, “How Much Electricity Can a Human Generate?”. <https://www.pedalpc.com/blog/how-much-electricity-can-human-generate/>

Gregory Jim (2019), PedalPC, “PedalPC: A Human-Powered Computer Desk”. <https://www.pedalpc.com/>

Grosche Mathieu (2015), Farming Soul: Atelier Paysan, “AGGROZOUK”. <https://www.farmingsoul.org/index.php/outils/aggrozouk>

Haji Maha, Lau Kimberly, Agogino Alice, “Human Power Generation in Fitness Facilities”. 2010, ES2010-90195, pp. 495-501, 7 pages, 10.1115/ES2010-90195, <https://doi.org/10.1115/ES2010-90195>

Haji M. N., Lau K., Agogino A. M., "Human Power Generation in Fitness Facilities." ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability, Volume 1, pp. 495-501, 7 pages. Phoenix, Arizona, USA, 2010, <https://doi.org/10.1115/ES2010-90195>

Hardwigg (2011), “Diode-IV-Curve”, Wikipedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diode-IV-Curve.svg>

Heschen,” Interruttore acceso/spento”, Amazon, [Heschen Interruttore a bilanciere, acceso/spento, DPST, 4 terminali con luce rossa, 16A 250V CA \(2\) : Amazon.it: Sport e tempo libero](https://www.amazon.it/sport-e-tempo-libero/dp/B003333333)

Hydro Tasmania, “About Wind Power”, Pinterest, <https://it.pinterest.com/pin/441352832212833598/>

IEA (2021), Electricity Information: Overview, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/electricity-information-overview>, Licence: CC BY 4.0

Ilic Gordana, Wilke Dillon, Alexander Joshua (2010), APPROPEDIA, “Arcata Hostel mechanical munchy-maker”. [https://www.appropedia.org/Arcata\\_Hostel\\_mechanical\\_munchy-maker](https://www.appropedia.org/Arcata_Hostel_mechanical_munchy-maker)

Ilyarexi, “Bicycle chain with pedals front view isolated on white. 3d rendering.”, Freepik, [https://www.freepik.com/premium-photo/bicycle-chain-with-pedals-front-view-isolated-white-3d-rendering\\_10968416.htm](https://www.freepik.com/premium-photo/bicycle-chain-with-pedals-front-view-isolated-white-3d-rendering_10968416.htm)

japchet, “fogli di legno compensato”, Amazon, <https://www.amazon.it/JAPCHET-compensato-artigianato-incisione-pirografia/dp/B0BX3H1VL5>

Jarnestad Johan, “Whittingham’s Battery”, The Royal Swedish Academy Of Sciences, <https://spectrum.ieee.org/lithium-ion-battery-2662487214>

Jectse, “Digital Power Meter”, Amazon, <https://www.amazon.co.uk/80-260V-Digital-Multimeter-Voltmeter-Ammeter/dp/B07Q3RZKQM>

Keithonearth (2009), “Derailleur Bicycle Drivetrain”, Wikipedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Derailleur\\_Bicycle\\_Drivetrain.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Derailleur_Bicycle_Drivetrain.svg)

Kévin (2020), Farming Soul: Atelier Paysan, “Lit de Travail”. [https://www.latelierpaysan.org/IMG/pdf/lit\\_de\\_travail.pdf](https://www.latelierpaysan.org/IMG/pdf/lit_de_travail.pdf)  
<https://farmingsoul.org/index.php/outils/lit-de-travail-m>

Kinmore, “brushless DC and brushed DC motors”, <https://kinmore.com/articles/brushless-dc-motors/>

K-Tor (2011), “Pedal Powered Generator – The Original Power Box”. <https://www.k-tor.com/pedal-powered-generator-the-original-power-box/>

Kühn, Stefan (2007). "Lathe", Museo Seiffen, Germania, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drechselbank\\_historisch.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drechselbank_historisch.jpg)

La Franca Giuseppe (2018), ElettroNews, "Il fotovoltaico diventa fitness". <https://www.elettronews.com/il-fotovoltaico-diventa-fitness/>

Lagzdins Andy (2023), LOW<TECH MAGAZINE, "Human Powered Air Compressor and Energy Storage System". <https://solar.lowtechmagazine.com/2023/07/human-powered-air-compressor-and-energy-storage-system/>

Lopez Jr. David (1995), APPROPEDIA, "CCAT human energy converter". [https://www.appropedia.org/CCAT\\_human\\_energy\\_converter](https://www.appropedia.org/CCAT_human_energy_converter)

Madhukesh, Madesh M, Mahadevaiah A, Anil Kumar D e Balaji V (2016), "Pedal Operated Water Pumping System". [https://www technoarete.org/common\\_abstract/pdf/IJERMCE/v1/i2/41.pdf](https://www technoarete.org/common_abstract/pdf/IJERMCE/v1/i2/41.pdf)

Maeng Youngwan, (2023), "Electric Motors", Studying Engineer, <https://studying-engineer.com/2023/09/15/the-fundamentals-of-electric-motors/>

Markham Ben Stephen (2008), Google Patents, "Electricity Generating Playground Equipment and Method". <https://patents.google.com/patent/US20080252180A1/en>

Marroquin Carlos (2010), Maya Pedal, "Pedal Powered Mill/Degrainer". <http://www.mayapedal.org/Mill.pdf>

MathWorks, "Best-Form Mathematical Models". <https://it.mathworks.com/help/simulink/ug/best-form-mathematical-models.html>

Maya Pedal, "Logo", <http://www.mayapedal.org/>

McCullagh J.C., "Pedal Power in Work, Leisure, and Transportation". Rodale Press: Emmaus, PA, USA, 1977, ISBN 0-87857-178-7.

Meshining Engineering, "String Drive", Project: Stringbike, <https://www.meshining.com/projects-services/25/stringbike/>

Mikiemike (2010), "Power Inverter Waveform", Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_inverter](https://en.wikipedia.org/wiki/Power_inverter)

Mundra Radhika (2015), engineering for CHANGE, "CycloClean". <https://www.engineeringforchange.org/solutions/product/cycloclean/>

Mushiri Tawanda, Mugova Tererai J., Mbohwa Charles (2017), "Design and Fabrication of a Pedal Powered Washing Machine". <https://ieomsociety.org/bogota2017/papers/72.pdf>

NevonProjects, "Pedal Powered Electricity Generator Project". <https://nevonprojects.com/pedal-powered-electricity-generator-project/>

Nichols Don, "Generatore Elettrico Portatile", Getty Images, <https://www.gettyimages.it/detail/foto/portable-electric-generator-immagine-royalty-free/182192586>

Nidec, "Rotating speed and generated voltage (counter-electromotive force)", <https://www.nidec.com/en/technology/motor/basic/00013/>

Palestar, "Viti per legno", Amazon, <https://www.amazon.it/Cartongesso-Resistenza-Svasata-Colorate-Confezione/dp/B09FGHZLXP>

PedalPowerGenerator (2017), “500 Watt Dual Generator Roller System (PPG-R500-AC200)”. [https://pedalpowergenerator.com/wp-content/uploads/2021/06/Bigfoot\\_Pedal\\_power\\_generator\\_Owners\\_manual\\_500W.pdf](https://pedalpowergenerator.com/wp-content/uploads/2021/06/Bigfoot_Pedal_power_generator_Owners_manual_500W.pdf)

Pinion, “Cambio Gearbox”, [Pinion: Arriva un nuovo cambio elettronico per e-bike. Dietro ci sono due ex ingegneri Porsche - Pianeta Mountain Bike](https://www.pinion.com/it/arriva-un-nuovo-cambio-elettronico-per-e-bike-dietro-ci-sono-due-ex-ingegneri-porsche-pianeta-mountain-bike)

PiSFAU, “300W Inverter da Auto 12V a 220V/230V”, Amazon, <https://www.amazon.it/Inverter-Adatto-Cellulare-computer-portatile/dp/B09YX3MBFS>

Precision Microdrives, “Reading the Motor Constants from Typical Performance Characteristics”, Pinterest, <https://it.pinterest.com/pin/723038915156264242/>

Pregolato Manuele (2023), “Energia elettrica con cyclette+alternatore auto”, [https://www.youtube.com/watch?v=\\_I\\_H7Cg1jrs&list=PLO0o5PCJspRHLfWBZEvSXv9erYK4V4CWw&index=26](https://www.youtube.com/watch?v=_I_H7Cg1jrs&list=PLO0o5PCJspRHLfWBZEvSXv9erYK4V4CWw&index=26)

Reed Marie (2009), “Treadmill crane”, Wikipedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Treadmillcrane.jpg>

Rohloff Mirco (2005), “Speedhub-schnitt”, Wikipedia, <https://it.m.wikipedia.org/wiki/File:Speedhub-schnitt.jpg>

Sailor Sam (2015), “Rotor Cervelo crankset Osymetric chainrings”, Wikipedia, [https://it.m.wikipedia.org/wiki/File:Rotor\\_Cervelo\\_crankset\\_Osymetric\\_chainrings.JPG](https://it.m.wikipedia.org/wiki/File:Rotor_Cervelo_crankset_Osymetric_chainrings.JPG)

Saullopez52, “How to Build a Bicycle Generator”, Autodesk Instructables, <https://www.instructables.com/How-To-Build-A-Bicycle-Generator/>

Schumacher E.F., “Small Is Beautiful. Economics as if People Mattered”. London: Blond & Briggs, 1973, ISBN 978-0-06-091630-5.

Scienze Photo Library, “Electrical Generators, 1900s”, <https://www.sciencephoto.com/media/658853/view/electrical-generators-1900s>

Serraglio Federico (2019), “Trebbiatrice-Pulitrice ad azionamento manuale assistito “Re-Thresher” Messa in sicurezza e ottimizzazione del trasporto”, Tesi Magistrale, Politecnico di Torino, IT, <https://webthesis.biblio.polito.it/secure/11600/1/tesi.pdf>

SKF, “Cuscinetti 16007 & Cuscinetti 16006”, <https://www.skf.com/it/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>

SMC, “Batteria auto SPEED MAX”, Amazon, <https://www.amazon.it/Batteria-SPEED-L4100-Pronta-alluso/dp/B096BN9FZP>

Soares Alexandre (2016), “Bicycle Transmission System”, GrabCAD Community, <https://print.grabcad.com/library/bicycle-transmission-system-1>

SportsArt, “A gym in Rochester, New York uses energy generated by its workout machines for power”, World Economic Forum in collaborazione con Green Matters, <https://www.weforum.org/agenda/2018/03/this-new-eco-gym-is-powered-by-your-workout/>

SunIsYou (2017), “BATTERIE AL PIOMBO O AL LITIO? ORIENTIAMOCI”. <https://blog.ilportaledelsole.com/2017/01/24/batterie-al-piombo-o-al-litio-orientiamoci/>

Sunshine, “Corona 11T”, AliExpress, [10 velocità di alta qualità Mountain Bike cassetta volano pignone Cog MTB 11T 12T 13T 15T 17T 21T 23T 25T adatto a SHIMANO SRAM Sunrace - AliExpress 18](#)

Sunwood, “Listello in legno di pino”, Amazon, <https://www.amazon.it/Listello-piallato-smussato-bricolage-rivestimenti/dp/B0CZ7FCVZN?th=1>

Tamara Dean, “Human powered home, choosing muscles over motors”. New Society Pub, US, 2008, ISBN 978-0865716018.

Ticfox, “Ultracondensatore Elettrolitico”, Amazon, <https://www.amazon.it/Ticfox-Condensatore-Singola-Ultracondensatore-Elettrolitico/dp/B09J8XHVN4>

Tycorun (2022), “What Is A Lead-Acid Battery?”, <https://www.tycorun.com/blogs/news/what-is-a-lead-acid-battery>

Varsh William, Healy Jeffrey (2012), “Human Powered Generation – Seesaw”. <https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1161&context=eesp>

VG Sports, “Ruota Libera 16T”, AliExpress, [VG Sports 16T 18T 20T 22T 24T 34MM ruota libera per bicicletta a velocità singola parte pignone per BMX 1 Speed Cog Gear accessori per biciclette - AliExpress 18](#)

Vinavil, “VINAVIL LEGNO EXTRA 1 KG”, Brico&Garden, <https://bricoegarden.it/prodotto/vinavil-legno-extra-1-kg/>

VXM, “Corone da 52T e 36T”, AliExpress, [110 130 BCD corona 36T 38T 40T 42T 46T 50T 52T 54T 56T 58T 60T bicicletta a catena stretta larga per Shimano sram manovella della bicicletta - AliExpress](#)

Warmann Catherine (2010), Dezeen, “R2B2”. <https://www.dezeen.com/2010/11/23/r2b2-by-christoph-thetard/>

Weir Alex, “The Dynapod: a Pedal Power Unit”, Mt. Rainier, Maryland: Volunteers in Technical Assistance (VITA), 1980, ISBN 0-86619-072-4, [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNAAN161.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAN161.pdf)

Wekin Andy, Blood Steve (2014), Pedal-Power Design+Build, “Big Rig”. <https://pedal-power.com/>

Wilson D.G., Schmidt T., “Bicycling Science”. Cambridge, MA: The MIT Press, 2020, ISBN 978-0-26-253840-4.

Wilson D.G., “Understanding Pedal Power”, Technical Paper 51, Arlington, Virginia: Volunteers in Technical Assistance (VITA), 1986, ISBN 0-86619-268-9, <http://edn.link/481adb8>

Wolfe Eli (2015), California Magazine, Published by the Cal Alumni Association, “Rock On: A Student-Designed Rocking Chair Generates Energy to Charge a Cell Phone”. <https://alumni.berkeley.edu/california-magazine/online/rock-student-designed-rocking-chair-generates-energy-charge/>