



**Politecnico  
di Torino**

**2024/2025**

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



**Corso di Laurea in  
Design e  
Comunicazione**

**Giacomo Emanuele Morello**





**Politecnico  
di Torino**

## **Politecnico di Torino**

Corso di Laurea in Design e Comunicazione

A.a. 2024/2025

Sessione di Laurea Settembre 2025

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

Relatore: Walter Franco

Candidato: Giacomo Emanuele Morello



# Sommario

L'energia, è diventata una risorsa tanto indispensabile quanto controversa. Il nostro crescente fabbisogno energetico, alimentato da un modello di sviluppo insostenibile, ha generato una crisi ambientale senza precedenti, con il cambiamento climatico e l'esaurimento delle risorse fossili che incombono sul nostro futuro. Spesso, viviamo in un'illusione di moderazione, senza renderci conto di quanto profondamente la nostra esistenza quotidiana sia intrisa di energia. Ogni gesto, ogni comodità, ogni spostamento è alimentato da una rete invisibile di risorse, che diamo per scontate. L'illuminazione che accendiamo con un tocco, il calore che ci avvolge nelle notti invernali, la freschezza data dai nostri condizionatori nelle giornate estive, sono tutti frutti di un consumo energetico che spesso non misuriamo. I nostri elettrodomestici, consumano energia in modo costante, mentre i nostri dispositivi mobili, richiedono una ricarica continua. I nostri spostamenti, che siano in auto, in treno o in aereo, sono alimentati da combustibili fossili, con un impatto ambientale significativo. La nostra vita, con le sue comodità e i suoi ritmi, è un modello di consumo che, se esteso a tutta l'umanità, porterebbe a un esaurimento delle risorse e a un cambiamento climatico irreversibile.

Il progetto del generatore di energia a pedali nasce dalla volontà di rendere tangibile l'impronta energetica che la nostra vita quotidiana lascia sul pianeta. Attraverso la fatica fisica necessaria per generare elettricità, vogliamo far comprendere quanto sia dispendioso alimentare anche un semplice computer. L'esperienza di dover pedalare per un tempo prolungato per mantenere acceso un dispositivo elettronico, che siamo abituati a utilizzare con un semplice tocco, rivela l'abisso tra il gesto immediato e lo sforzo reale che vi è dietro.

Questo progetto non si limita a creare un generatore che possa produrre la quantità di energia necessaria per alimentare i nostri dispositivi, ma vuole anche evidenziare l'energia invisibile che sostiene il mondo digitale. L'elettricità che consumiamo per navigare in internet, per esempio, non si limita al funzionamento del nostro computer, ma include l'energia necessaria per alimentare i server che ospitano i siti web, i dati e i servizi che utilizziamo. Questi centri di elaborazione dati, spesso nascosti alla nostra vista, consumano elevate quantità di energia per funzionare e per raffreddarsi.

Attraverso la fatica fisica, il progetto del generatore a pedali vuole far riflettere sul fatto che l'energia non è una risorsa illimitata e che il nostro consumo ha un impatto concreto sull'ambiente. Pedalare per generare elettricità diventa un modo per comprendere il processo di produzione dell'energia, per renderci consapevoli della sua preziosità e per stimolare un cambiamento nelle nostre abitudini.



# Indice

## 01 L'energia grigia

- 1.1 Energia digitale
- 1.2 Il concetto di schiavo energetico
- 1.3 Stuard McMillen - energy slave
- 1.4 Data center
- 1.5 L'impatto ambientale dei datacenter
- 1.6 Il consumo d'acqua
- 1.7 Il peso dell' Intelligenza artificiale
- 1.8 Energia e cryptovalute

## 02 Installazioni Casi studio

- 2.1 Pedal Power
- 2.2 School Playground Disco
- 2.3 Ciclo Tornio
- 2.4 Green Microgym
- 2.5 Teatro a pedali
- 2.6 Internet Machine
- 2.7 MB>CO<sub>2</sub>

## **03 Siti web** Casi studio

3.1 Website Carbon Calculator

3.2 Low Tech Magazine

3.3 The Shift Project

3.4 Green Web Foundation

3.5 Climate Action Tech

3.6 Positive Internet Microsite

## **04 Energia umana**

4.1 I valori dell'energia umana

4.2 Vantaggi e svantaggi dell'energia umana

4.3 La pedalata

## **05 Generatori a pedali** Casi Studio

5.1 How to Build a Bicycle Generator

5.2 Pedal Power

5.3 PedalPC

5.4 Pedal-Powered Computer

# **06 Generatore a pedali Progetto**

**6.1** Quanto consuma un Pc?

**6.2** Concept

**6.3** Descrizione

**6.4** Scelte progettuali

**6.5** Generatore e rapporto

**6.6** Componenti

## **Conclusion**



# Capitolo 1

## Energia grigia



# Introduzione

Nell'era della digitalizzazione, gran parte dell'impatto ambientale delle tecnologie non è immediatamente visibile agli occhi dell'utente finale.

Questo impatto nascosto è in parte riconducibile alla cosiddetta energia grigia, cioè l'insieme di tutte le risorse energetiche utilizzate durante l'intero ciclo di vita di un bene o servizio.

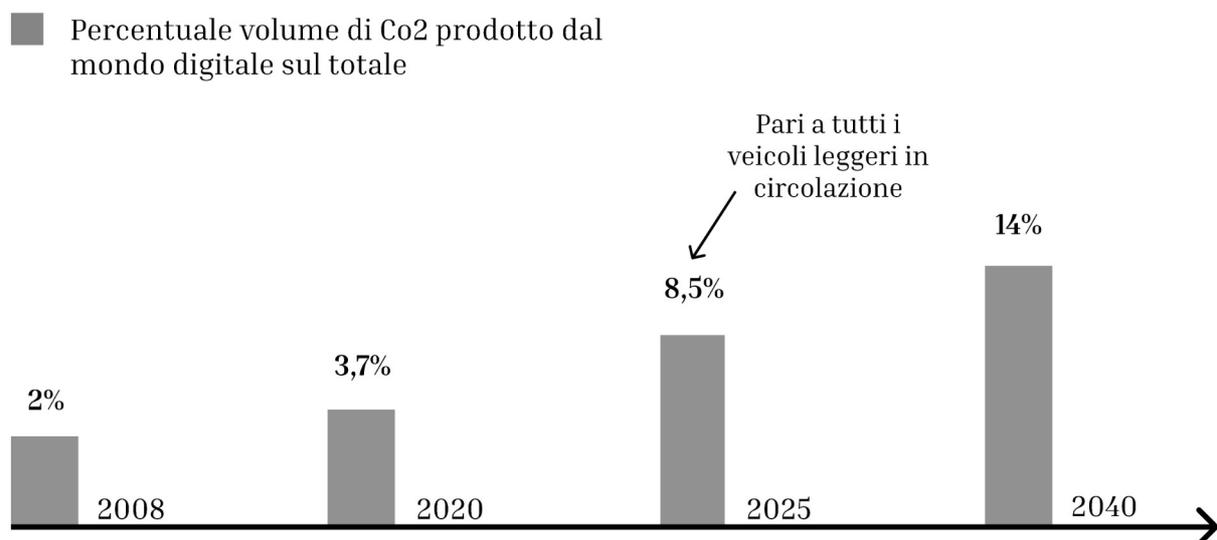
L'energia grigia è definita come “la somma di tutta l'energia necessaria per produrre beni o servizi e comprende l'energia necessaria dall'estrazione e dalla lavorazione delle risorse naturali alla produzione, al trasporto e alla consegna del prodotto.” (ScienceDirect).

Comprendere questa componente invisibile del consumo energetico è fondamentale per valutare con maggiore consapevolezza l'impatto ambientale delle nostre attività quotidiane, specialmente nel contesto dell'utilizzo di dispositivi digitali e servizi online.

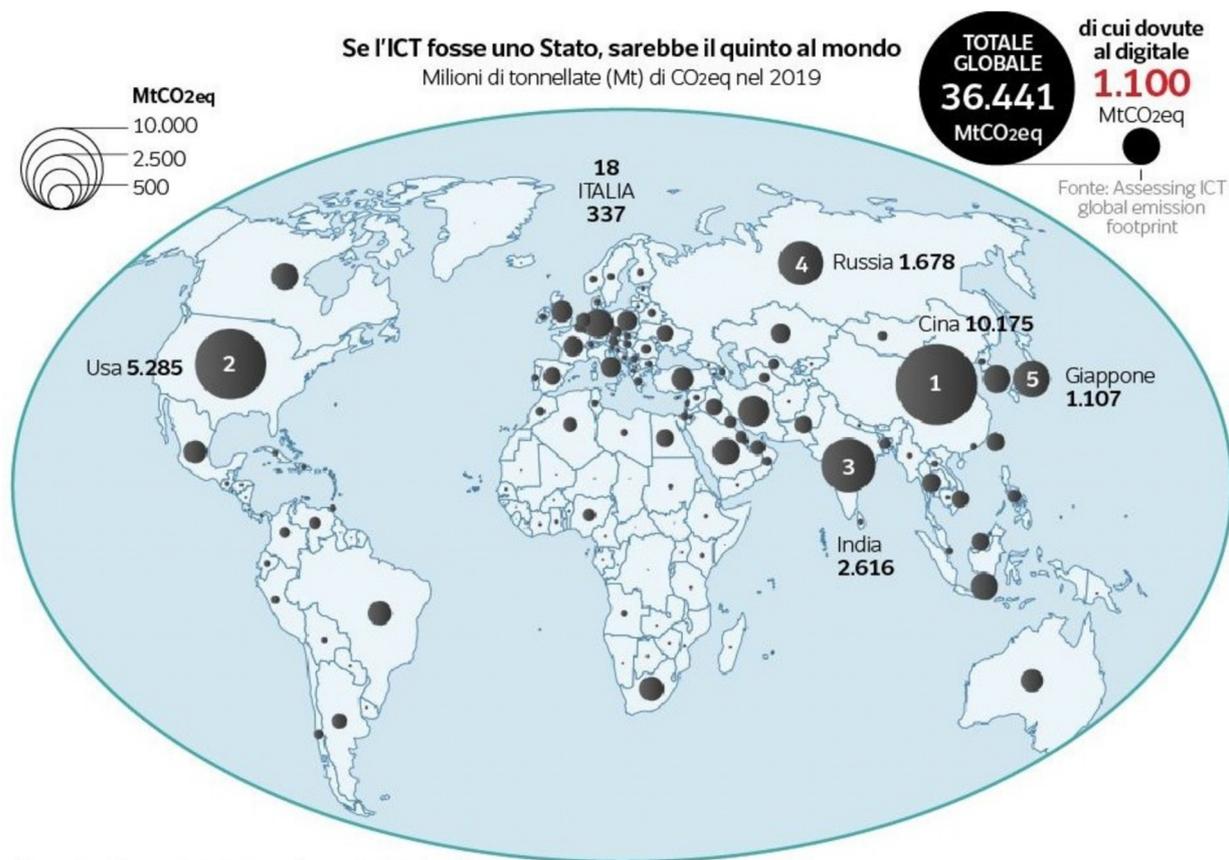
# 1.1 Energia digitale

L'energia grigia, nel contesto dell'informatica e del mondo digitale, si riferisce all'energia totale consumata durante l'intero ciclo di vita di un dispositivo o di un servizio online, che va ben oltre l'elettricità necessaria per farlo funzionare direttamente. Essa include l'energia impiegata per l'estrazione delle materie prime, la produzione dei componenti hardware (come chip, schede, schermi), l'assemblaggio, il trasporto, la distribuzione, la manutenzione e, infine, lo smaltimento e il riciclaggio.

Nel caso specifico dei computer, l'energia grigia comprende l'enorme dispendio energetico legato alla costruzione e al mantenimento dei server, dei data center (con i loro sistemi di raffreddamento e alimentazione), delle reti di comunicazione globali e persino alla produzione dei nostri stessi dispositivi di accesso. Questa "energia nascosta", spesso trascurata perché non immediatamente percepibile durante l'utilizzo quotidiano, costituisce una porzione significativa dell'impronta ambientale del nostro mondo digitale. Comprendere e quantificare l'energia grigia è fondamentale per ottenere un quadro completo dell'impatto ecologico delle nostre abitudini online e per promuovere pratiche più sostenibili nell'intero ciclo di vita delle tecnologie digitali.



**Figura 1**  
Contributo del digitale alle emissioni globali di CO2 (Corriere.it, 2021)



**Figura 2**  
 Confronto del consumo di Co2 del mondo digitale paragonato al consumo degli stati.  
 (Corriere.it, 2021)

## 1.2 Il concetto di schiavo energetico

Il concetto di "schiavo energetico" ha una sua evoluzione storica e rappresenta oggi un modo significativo di comprendere il nostro consumo globale di energia.

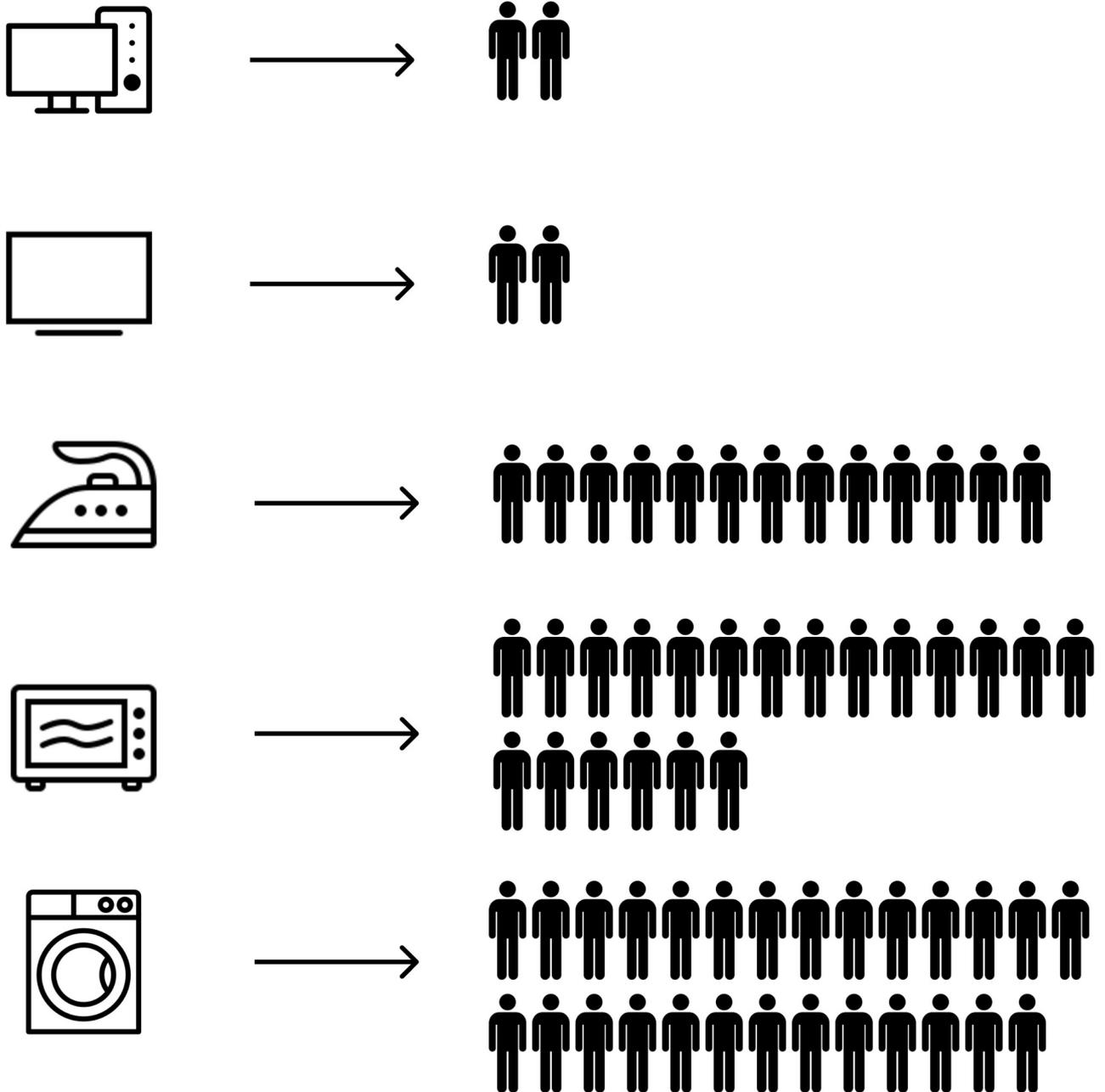
Storicamente, per molti millenni, l'umanità ha tratto energia principalmente dal lavoro muscolare di uomini e animali, oltre che da fonti naturali come il vento, l'acqua e le biomasse. Nelle grandi civiltà del passato, come quella egizia, cinese, greca e romana, gli schiavi rappresentavano una grande fonte di energia umana. Senza il loro lavoro, non sarebbe stato possibile realizzare opere monumentali come le piramidi, la Grande Muraglia o il Colosseo.

Anche se la schiavitù ufficiale è stata abolita da tempo, il concetto di una forma di "schiavitù" legata all'energia si è evoluto. Il termine "energy slave" (schiavo energetico) è stato coniato dal filosofo americano Richard Buckminster Fuller nel 1944. Lo scopo di questo concetto è di visualizzare quanto lavoro umano sarebbe ipoteticamente necessario per sostenere una certa azione, stile di vita o cultura in assenza delle fonti energetiche altamente concentrate disponibili oggi, come i combustibili fossili. Si tratta di un modo per comprendere il reale consumo di energia all'interno delle nostre vite.

Oggi, il concetto di "schiavo energetico" non si riferisce a esseri umani in stato di schiavitù, ma piuttosto a una quantificazione ipotetica del numero di persone che sarebbero necessarie per fornire la stessa quantità di energia che otteniamo da altre fonti, principalmente quelle non rinnovabili (Alter, 2012).

Un uomo in buona salute può generare circa 50 watt di potenza in un'attività continuativa. Considerando 12 ore lavorative giornaliere, uno "schiavo energetico" potrebbe fornire circa 600 wattora (Wh) di energia (AGI, 2017).

Ecco alcuni esempi per comprendere a pieno quanto sia energivoro il nostro attuale stile di vita:



Legenda

 = 75 W

**Figura 3**

Schiavi energetici necessari per il funzionamento di alcuni elettrodomestici.  
(Luce-Gas.it, 2025)

## 1.3 Stuard McMillen - energy slave

Il fumetto "Energy Slaves" di Stuart McMillen illustra il concetto di "schiavo energetico" formulato da Buckminster Fuller, che si riferisce all'idea che l'energia che utilizziamo dalle fonti fossili è equivalente al lavoro di un gran numero di lavoratori invisibili (McMillen, 2017). Il fumetto esplora quanti di questi "schiavi energetici invisibili" siano necessari per sostenere i nostri moderni stili di vita alimentati dai combustibili fossili.

Il fumetto, attraverso le sue illustrazioni, rende visibile e comprensibile questa idea astratta di dipendenza dal lavoro energetico dei combustibili fossili. Un docente universitario che utilizza il fumetto nel suo corso ha riscontrato che è uno strumento "potente" per creare una duratura impressione sulla quantità di energia che diamo per scontata (McMillen, 2016). Anche un consulente francese in economia a basse emissioni di carbonio, Jean-Marc Jancovici, afferma che l'abilità di illustrare i numeri è un vantaggio fondamentale per diffondere questo concetto.

In sintesi, il concetto di "schiavo energetico" di Buckminster Fuller, come illustrato nel fumetto, evidenzia come il nostro elevato consumo di energia, basato principalmente sui combustibili fossili, equivalga all'utilizzo del lavoro di un'enorme forza lavoro invisibile. Il fumetto mira a rendere tangibile questa dipendenza e le sue implicazioni per la sostenibilità e il futuro.



**Figura 4**  
Frame del fumetto "Energy slave" (Stuard McMillen, 2017)

## 1.4 Data center

Un data center è uno spazio altamente specializzato o una struttura che ospita infrastrutture come server e dispositivi di archiviazione, sistemi di archiviazione e apparecchiature di rete. Possono essere descritti come immensi network di computer in grado di organizzare e processare enormi quantità di dati.

I data center costituiscono la spina dorsale del nostro mondo interconnesso e sono alla base del funzionamento di Internet. La loro funzionalità di organizzare e processare dati e conservare dati digitali permette di alimentare o supportare una vasta gamma di servizi digitali. Questi includono servizi online, piattaforme AI, potenti servizi cloud, siti web, app, servizi 5G e supercomputer. Sono considerati un'infrastruttura di primaria importanza in un mondo sempre più digitale.

È importante notare che il funzionamento dei data center richiede un massiccio impiego energetico; infatti, sono tra i maggiori consumatori di energia a livello globale. Gran parte di questa energia è necessaria per mantenere in funzione i server e per raffreddare, poiché i componenti hardware generano calore durante le operazioni.



**Figura 5**  
Interno del data center di Aruba ad Arezzo, Italia. (Aruba Business)

## 1.5 L'impatto ambientale dei data center

Quanto consumano i data center?

A livello globale, secondo uno studio dell'Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA), i data center rappresentano l'1% della domanda globale di elettricità (Spencer, 2024). Nell'Unione Europea, una ricerca finanziata dalla Commissione Europea indicava che già nel 2018 i data center nei paesi dell'UE contavano per il 2,7% dei consumi di energia elettrica (European Commission, 2020). Le previsioni indicavano un aumento sostanziale negli anni successivi.

**1 %**

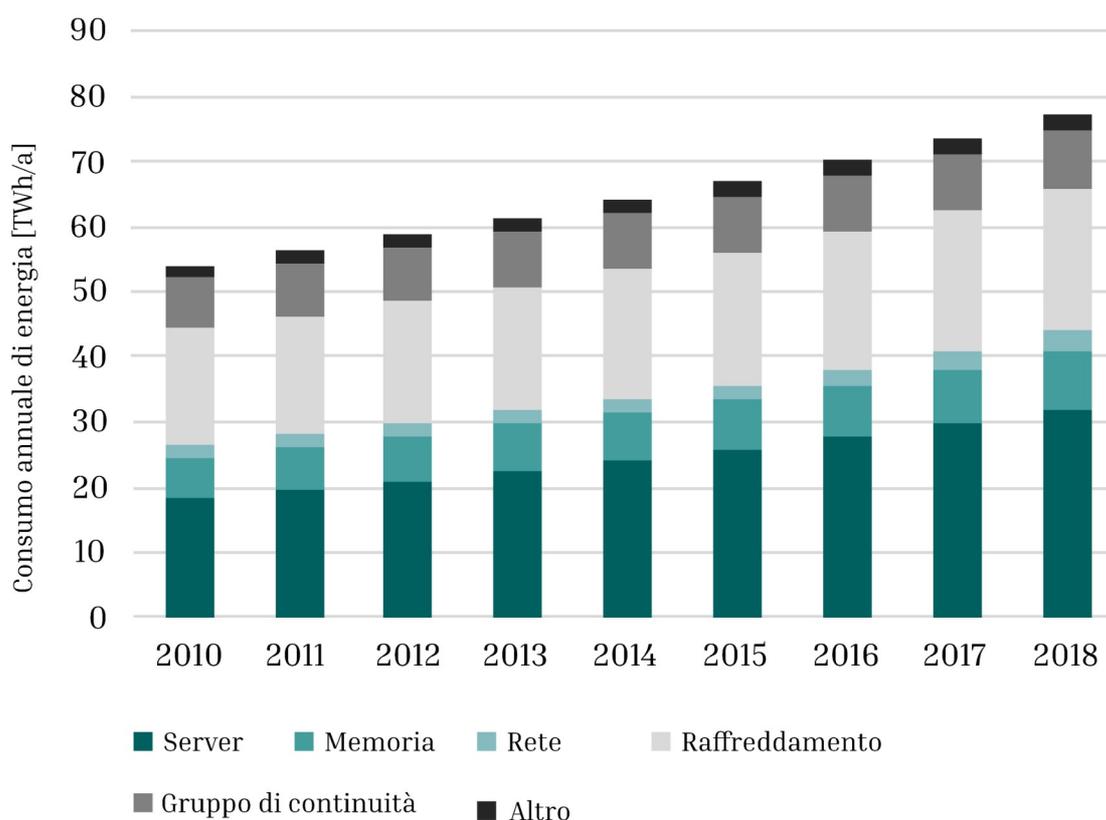
energia mondiale

**2,7 %**

energia europea

Diversi fattori contribuiscono all'elevato consumo energetico dei data center:

- **Produzione di calore:** L'attività dei computer genera calore, che è di fatto uno spreco di energia.
- **Raffreddamento:** Il raffreddamento attraverso condizionamento o altri sistemi è una delle componenti più energivore del funzionamento di un data center. Per cercare di sfruttare le basse temperature locali per il raffreddamento, molti data center sono posizionati alle latitudini più nordiche possibili.
- **Sottoutilizzo ("Idle"):** Per la maggiorparte del tempo i computer all'interno dei datacenter sono inattivi ("idle"), ma continuano a consumare energia senza processare dati.



**Figura 6**  
Consumo energetico annuale dei data center suddiviso in categorie (IlBoLive, 2022)

Questo grafico illustra il consumo energetico annuale (in TWh/a) di vari componenti dei data center tra il 2010 e il 2018. La legenda mostra le categorie esaminate: Server, Storage, Networks, Cooling, UPS e Other. Si può osservare una tendenza generale all'aumento del consumo energetico totale nel corso degli anni. In particolare, le categorie di Cooling e Servers sembrano rappresentare una quota significativa del consumo totale. L'analisi di questi dati è fondamentale per comprendere l'impatto ambientale e l'efficienza energetica dei data center (Boscolo,2022).

## 1.6 Il consumo d'acqua

Il fabbisogno idrico dei data center sta aumentando vertiginosamente, in particolare con il boom dell'utilizzo dell'intelligenza artificiale (AI).

Entrando nei dettagli:

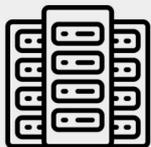
Nello stato americano della Virginia, dove si trova la più grande concentrazione mondiale di data center, la quantità d'acqua necessaria per il raffreddamento è aumentata del 65% in appena quattro anni (Nicoletti, 2025).

La media giornaliera per ogni data center negli USA nel 2023 era di 1,7 milioni di litri. Questo consumo giornaliero di un singolo data center di medie dimensioni è paragonabile a quello utilizzato quotidianamente da circa 1.500 famiglie americane (Wheatley, 2024).

Questo è il consumo d'acqua diretto, che si somma al consumo idrico indiretto legato alla richiesta di elettricità per le server farm. Questo consumo indiretto è definito "invisibile" ma rappresenta la fetta più grande dell'impronta idrica di queste strutture. Per la generazione di energia elettrica possono essere utilizzate anche fonti rinnovabili, ma l'acqua per il raffreddamento viene prelevata in loco da fiumi e bacini d'acqua dolce limitrofi. L'acqua prelevata per il raffreddamento non può essere riutilizzata perché gran parte evapora a causa delle alte temperature dei server.

Questo ingente consumo d'acqua da parte dei data center si verifica in un contesto globale dove episodi di siccità record sono sempre più comuni, e la salvaguardia della fornitura idrica è sempre più urgente data la crescita della popolazione mondiale e l'aumento della domanda.

### Consumo in litri di acqua al giorno



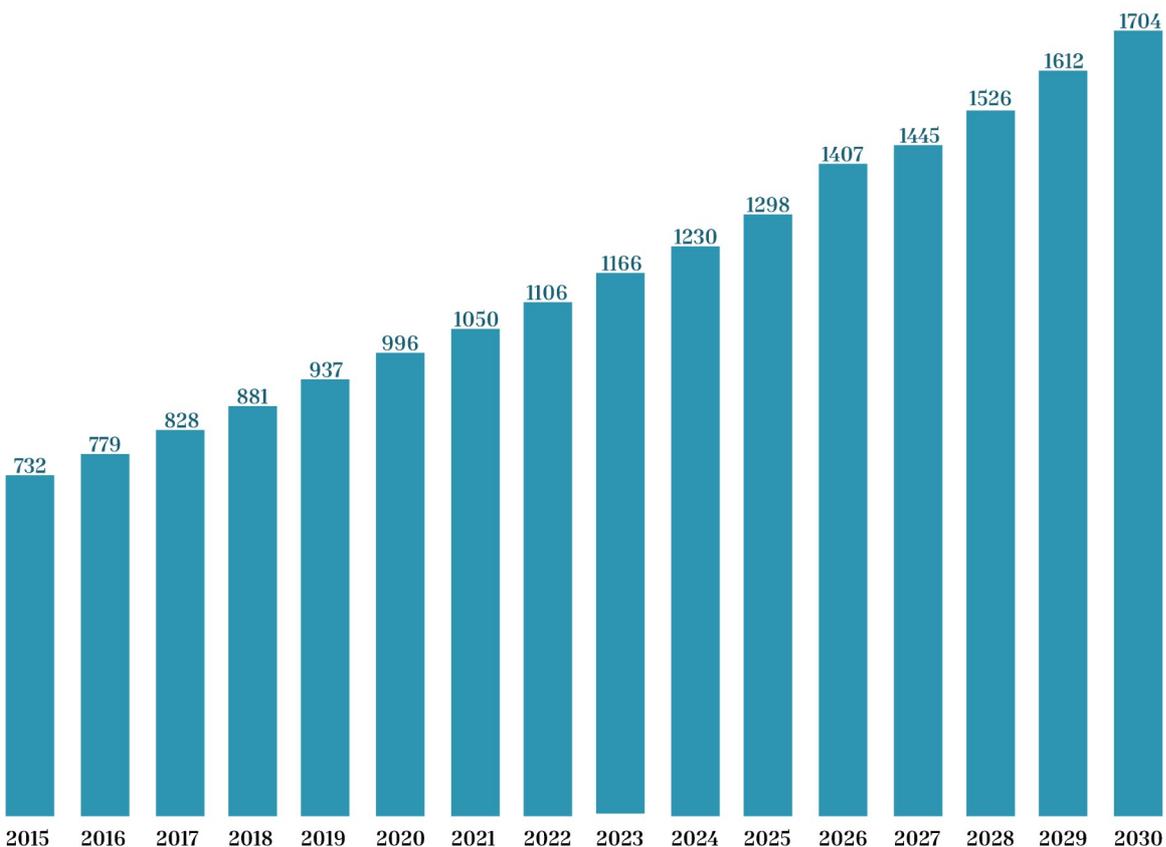
1,7 Milioni di litri



1500 famiglie americane

Nei prossimi anni, è ampiamente previsto un trend in significativa crescita per il consumo di acqua all'interno dei data center. Questo aumento è direttamente correlato alla sempre maggiore domanda di potenza di calcolo e di archiviazione dati, alimentata dall'espansione dell'intelligenza artificiale, del cloud computing e dei servizi digitali in generale. L'acqua, infatti, svolge un ruolo cruciale nei sistemi di raffreddamento necessari per mantenere operative le ingenti infrastrutture informatiche, prevenendo il surriscaldamento e garantendo la continuità dei servizi. Con la continua evoluzione tecnologica e la crescente dipendenza dal digitale, la gestione sostenibile delle risorse idriche nei data center diventerà una sfida sempre più critica (Etica Sgr, 2024).

Dati in milioni di litri



**Figura 7**  
Consumo idrico globale quotidiano dei data center e previsione di aumento (Etica Sgr, 2024)

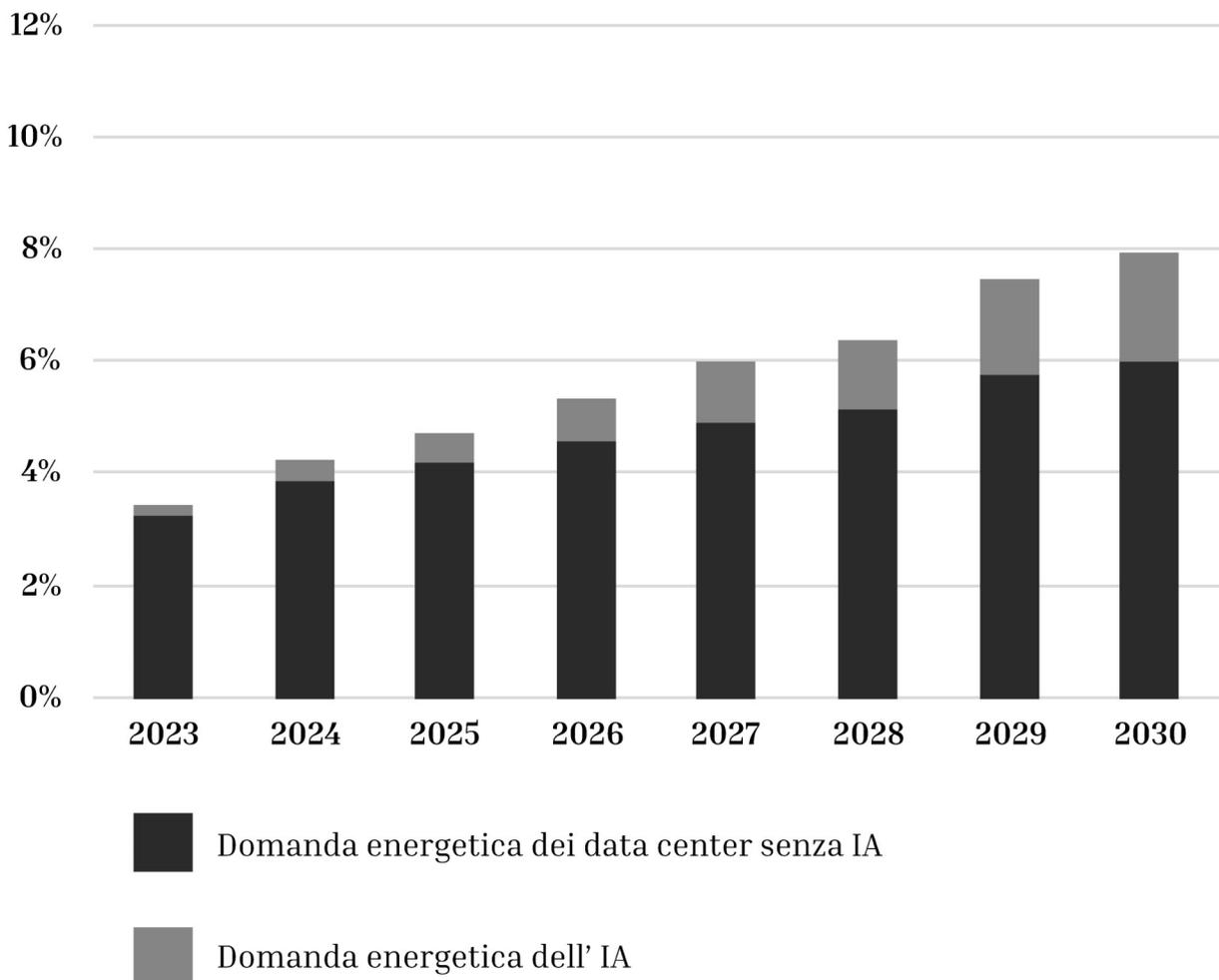
## 1.7 Il peso dell' Intelligenza artificiale

L'avvento dell'Intelligenza Artificiale (AI) rappresenta una delle trasformazioni tecnologiche più significative del nostro tempo, con il potenziale di rivoluzionare settori interi e ridefinire la nostra interazione con il mondo. Tuttavia, dietro la promessa di efficienza e innovazione si cela una crescente preoccupazione: l'impatto energetico di questa tecnologia in rapida espansione. L'addestramento di modelli complessi di AI, l'esecuzione di algoritmi sofisticati e il mantenimento delle infrastrutture necessarie richiedono quantità sempre maggiori di energia, sollevando interrogativi cruciali sulla sostenibilità ambientale di questa rivoluzione.

L'Intelligenza Artificiale (AI) sta emergendo come una forza trainante nel panorama tecnologico attuale, ma la sua rapida crescita comporta un'impronta energetica sempre più significativa. L'addestramento di modelli di AI complessi, come i Large Language Models (LLM) utilizzati in chatbot avanzati, richiede una quantità di potenza computazionale senza precedenti, spesso alimentata da data center di grandi dimensioni. Questi centri di elaborazione dati, che ospitano le infrastrutture necessarie per l'AI, consumano enormi quantità di elettricità non solo per il funzionamento dei server, ma anche per i sistemi di raffreddamento essenziali a prevenire il surriscaldamento.

Stime recenti indicano che il consumo energetico dei data center, in parte significativo dovuto all'AI, è in rapido aumento e si prevede che questa tendenza continuerà nei prossimi anni. Alcune ricerche suggeriscono che entro il 2027 i data center che alimentano l'AI potrebbero consumare una quantità di energia paragonabile al fabbisogno di intere nazioni. Questo aumento del consumo energetico solleva serie preoccupazioni riguardo alla sostenibilità ambientale dell'AI, contribuendo potenzialmente all'incremento delle emissioni di gas serra se non alimentato da fonti rinnovabili.

Parallelamente al consumo di energia elettrica, l'AI e i data center ad essa dedicati comportano anche un crescente consumo di acqua. L'acqua è fondamentale nei sistemi di raffreddamento evaporativo, ampiamente utilizzati per dissipare il calore prodotto dalle infrastrutture informatiche. Con la previsione di un raddoppio del numero di data center entro il 2030 e una crescita annua significativa del consumo energetico degli stessi, la gestione delle risorse idriche diventerà una sfida cruciale per garantire la sostenibilità a lungo termine dell'intelligenza artificiale. La necessità di bilanciare i progressi dell'AI con la responsabilità ambientale richiederà un'attenzione crescente all'efficienza energetica, all'utilizzo di fonti rinnovabili e a sistemi di raffreddamento innovativi e meno dispendiosi in termini idrici.



**Figura 8**

Previsione e attuale domanda energetica necessaria per il funzionamento dei data center in USA. (CPRAM, 2024)

## 1.8 Energia e cryptovalute

Una cryptovaluta è una valuta digitale o virtuale che utilizza la crittografia per la sicurezza. A differenza delle valute tradizionali emesse dai governi (valute fiat), le cryptovalute operano tipicamente su sistemi decentralizzati, spesso basati sulla tecnologia blockchain.

La moneta principale è chiamata Bitcoin. Creata nel 2009 da una persona o gruppo di persone sconosciute sotto lo pseudonimo di Satoshi Nakamoto. Opera su una tecnologia chiamata blockchain, un registro pubblico e distribuito che registra tutte le transazioni in modo trasparente e immutabile, senza la necessità di un'autorità centrale come una banca o un governo.

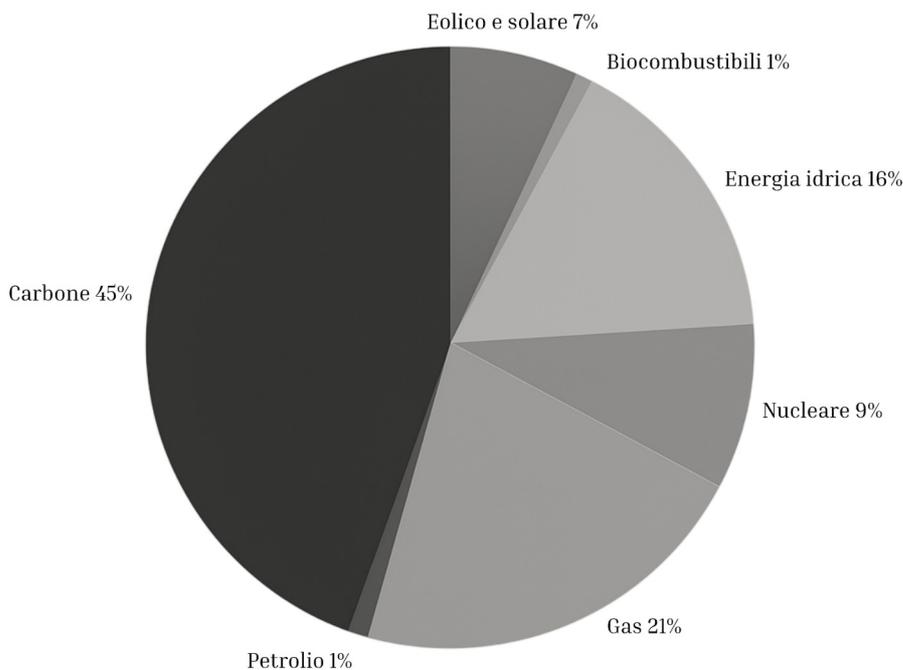
Per "creare" Bitcoin, è necessaria un'attività informatica chiamata "mining". Questo processo implica l'utilizzo di potenti computer per risolvere complessi problemi matematici che servono a convalidare le transazioni, garantendo la sicurezza e l'integrità della rete. Come ricompensa per questo lavoro, i "miner" ricevono nuove cryptovalute, come il Bitcoin.

L'impatto energetico di questa attività è estremamente significativo:

- **Consumo di elettricità:** Il mining è estremamente energivoro. Nel 2023, l'attività di mining a livello globale ha richiesto 178 terawattora di elettricità, un consumo pari a quello dell'intera Italia in sei mesi. Se l'infrastruttura globale per la creazione di Bitcoin fosse uno Stato sovrano, sarebbe il 27° per consumo di energia, superando il Pakistan, che ha oltre 230 milioni di abitanti. Le apparecchiature di mining devono funzionare senza sosta, 24 ore su 24, alla massima potenza (Digicomist, 2025).
- **Dipendenza dai Combustibili Fossili:** Una criticità maggiore è la forte dipendenza di questa tecnologia dai combustibili fossili. Nel 2023, il 60% di questa energia proveniva da combustibili fossili. Uno studio relativo al 2020-2021 indica che il carbone ha fornito il 45% dell'elettricità totale utilizzata dalla rete globale di mining, risultando la principale fonte energetica (UNU, 2023). Questa preferenza per l'energia fossile è dovuta al fatto che l'uso di energie rinnovabili è limitato dalla disponibilità territoriale e soggetto a variazioni, mentre il mining richiede alimentazione costante.

- **Emissioni di CO2:** Il Bitcoin Energy Consumption Index calcola in 98 milioni di tonnellate la CO2 immessa ogni anno nell'atmosfera dalle "fabbriche" di Bitcoin. Questo valore è paragonabile alle emissioni annuali di anidride carbonica di interi Paesi, come la Grecia. Per compensare queste emissioni, si dovrebbero piantare 4 miliardi di alberi ogni due anni, coprendo un'area pari a quella della Danimarca (SWI, 2025).
- **Consumo Idrico:** Tra il 2020 e il 2021, l'estrazione di Bitcoin ha richiesto 1,65 chilometri cubi di acqua, usata principalmente per il raffreddamento dei data center. Questo volume sarebbe sufficiente a soddisfare i bisogni idrici di oltre 300 milioni di persone che vivono in territori soggetti a siccità (UNU, 2023).
- **Spazio Fisico e Rifiuti Elettronici:** L'attività richiede un'enorme quantità di spazio fisico per i data center, stimata globalmente a oltre 1.870 chilometri quadrati, un'estensione pari a 1,4 volte l'area di Los Angeles. Inoltre, le apparecchiature utilizzate diventano obsolete rapidamente, in circa un anno e mezzo, portando a una significativa produzione di rifiuti elettronici, equivalente al totale prodotto dal Lussemburgo (Digicomist, 2025).

## Contributi delle diverse fonti energetiche nell'approvvigionamento di elettricità per la rete globale di mining di BTC



**Figura 9**  
Suddivisione in percentuale delle fonti energetiche per il mining di BTC nel biennio 2020-2021.  
(Etica Sgr, 2024)



# Capitolo 2

## Installazioni

Casi studio

# Criteria di scelta

Durante la fase di ricerca sono stati selezionati i principali casi studio in base ad alcuni criteri. Altri casi studio, significativi ma ridondanti, sono stati citati nella sezione “Altri casi studio” a pagina 38 e pagina 49.

**Pertinenza tematica:**

Le installazioni scelte affrontano il tema del consumo energetico digitale, con particolare attenzione all'energia grigia associata a tecnologie informatiche, data center, intelligenza artificiale e connettività.

**Valore comunicativo e didattico:**

Sono stati scelti progetti capaci di tradurre concetti astratti in esperienze tangibili o sensoriali, facilitando la comprensione del problema anche da parte di un pubblico non tecnico.

**Diversità nei linguaggi espressivi e tecnologici:**

È stata privilegiata una selezione eterogenea che includesse opere interattive, visualizzazioni ambientali, installazioni analogiche e digitali, così da mostrare diverse tipologie di comunicazione per un tema comune.

**Rilevanza internazionale e fonti verificabili:**

I progetti selezionati provengono da artisti o collettivi riconosciuti a livello nazionale o internazionale, e sono stati documentati tramite fonti ufficiali, pubblicazioni accademiche o siti web verificabili, garantendo l'affidabilità delle informazioni riportate.

# Introduzione installazioni

Il mondo digitale, con la sua apparente immaterialità e fluidità, nasconde un'infrastruttura fisica energivora, fatta di server, data center e reti di trasmissione che operano incessantemente. Comprendere l'impronta energetica di questo "mondo invisibile" è fondamentale per una consapevolezza ambientale completa.

Questo capitolo esplora una serie di progetti e installazioni che adottano un approccio singolare per rendere tangibile questa realtà: attraverso lo sforzo fisico diretto, come la pedalata, essi mirano a far sperimentare in prima persona il legame tra l'energia umana e quella necessaria per alimentare il complesso ecosistema digitale.

I casi studio presentati illustrano come la conversione diretta dell'energia muscolare in elettricità possa diventare una potente metafora per comprendere l'importanza e il costo energetico, spesso sottovalutato, che sottende il funzionamento dei computer, dei server e dei data center, e per sensibilizzare sul concetto di energia grigia.

## Legenda



Coinvolgimento fisico



Sostenibilità



Partecipazione collettiva



Attività per bambini



Messaggio educativo

## 2.1 Pedal Power (Associazione Collettiva Trasforma)

### Descrizione

Pedal Power è un'installazione interattiva basata su biciclette che trasformano l'energia cinetica generata dal pubblico pedalando in energia elettrica. Il progetto è pensato come esperienza ludica, collettiva e sostenibile, capace di alimentare eventi culturali e dispositivi elettronici in tempo reale.



Figura 10  
Immagine di un evento Pedal Power (Pedal Power)

### Funzionamento

Il sistema utilizza biciclette dotate di generatori per produrre energia in corrente continua. Collegandole a una power station dedicata, l'energia viene convertita in corrente alternata a 220V, con un regolatore di tensione per garantire la sicurezza di impianti audio, video e altri dispositivi elettronici.

### Obiettivo

L'installazione mira a rendere evidente il legame tra attività fisica e produzione energetica, promuovendo un modello partecipativo e consapevole di consumo. Il messaggio centrale è che l'energia, anche quella apparentemente "semplice", richiede impegno, risorse e cooperazione. L'opera intende favorire la diffusione di buone pratiche ambientali e la consapevolezza energetica collettiva.

## 2.2 School Playground Disco (Murray, Electric Pedals)

### Descrizione

School Playground Disco è un'installazione permanente realizzata nel cortile della Eleanor Palmer Primary School di Londra. Progettata dal designer Murray, unisce le funzioni di discoteca interattiva e parco giochi, offrendo agli studenti un'esperienza ludica basata sulla produzione di energia.



Figura 11  
Immagine della struttura School Playground Disco (Electric Pedals, Murray)

### Funzionamento

Il sistema è alimentato interamente dalla forza muscolare grazie a due biciclette con generatore X-Bike e un generatore a manovella. L'energia prodotta attiva una console musicale, una drum machine MIDI sensibile al tocco, una sfera da discoteca rotante e due strisce LED: una per la potenza istantanea, l'altra per l'energia accumulata. Tutte le strutture sono costruite in acciaio inossidabile.

### Obiettivo

L'installazione ha l'obiettivo di educare i più piccoli al concetto di energia rinnovabile e alla relazione diretta tra attività fisica e produzione energetica. Attraverso un approccio ludico e immersivo, il progetto trasmette valori legati alla sostenibilità, alla consapevolezza energetica e all'importanza dell'impegno individuale per generare energia.

## 2.3 Ciclo Tornio (Il Tarlo)

### Descrizione

Si tratta di un laboratorio didattico per bambini in cui si costruiscono trottolo utilizzando un tornio alimentato dalla pedalata di una bicicletta. Il tornio consente di sagomare materiali di recupero per trasformarli in piccoli giocattoli artigianali.



**Figura 12**  
Svolgimento del laboratorio di Ciclo Tornio, realizzazione di una trottolo (Il Tarlo)

### Funzionamento

Il sistema si basa su un tornio manuale modificato per essere messo in funzione tramite la pedalata di una bicicletta. L'energia muscolare viene trasformata in movimento rotatorio continuo, necessario per la lavorazione del materiale. Il tutto è progettato in modo sicuro per l'uso da parte di bambini.

### Obbiettivo

L'attività mira a far comprendere ai partecipanti, in modo esperienziale, la relazione tra energia fisica e lavoro meccanico. Promuove la consapevolezza ambientale, il riuso creativo dei materiali e introduce in maniera ludica i concetti di energia cinetica, meccanica e sostenibilità.

## 2.4 The Green Microgym (Boesel A.)

### Descrizione

The Green Microgym è una palestra innovativa che integra sostenibilità e attività fisica, utilizzando l'energia prodotta dalle persone durante l'allenamento per contribuire all'alimentazione energetica dell'edificio. Il progetto nasce a Portland con l'intento di coniugare benessere personale e responsabilità ambientale.



**Figura 13**  
Allenamento con macchinari che permettono la produzione di energia (The Green Microgym)

### Funzionamento

Le attrezzature da palestra, come cyclette e spin bike, sono collegate a un sistema "grid-tied" che consente di reimmettere nella rete elettrica interna l'energia generata. I macchinari sono plug-and-play, non richiedono interventi speciali e possono generare tra 10 e 30 watt in modo continuo. Un esempio è la Green Read and Ride Bike, una bici da allenamento che produce elettricità durante l'uso.

### Obbiettivo

Lo scopo principale è educare al concetto di energia come risorsa limitata e preziosa, rendendo visibile il valore di un watt. Il progetto promuove l'idea che l'energia umana possa essere parte di una transizione verso modelli più puliti e sostenibili, stimolando una cultura energetica consapevole e partecipata.

## 2.5 Teatro a pedali (Mulino ad arte)

### Descrizione

Teatro a Pedali è un format innovativo di spettacolo dal vivo a impatto zero, ideato dalla compagnia Mulino ad Arte. Nato come festival nel 2021, il progetto ha progressivamente assunto una forma diffusa con eventi itineranti in diverse città italiane, unendo cultura, sostenibilità e partecipazione attiva del pubblico.



Figura 14  
Svolgimento di uno spettacolo teatrale del festival Play Your Life (Mulino ad arte)

### Funzionamento

Il sistema si basa su biciclette collegate a un impianto di accumulo elettrico che alimenta l'intero apparato tecnico dello spettacolo. La co-generazione avviene tramite la pedalata del pubblico, prima e durante l'evento, garantendo il funzionamento di luci, audio e attrezzature di scena in completa autonomia energetica.

### Obiettivo

L'obiettivo principale è sensibilizzare il pubblico al tema della sostenibilità ambientale attraverso un'esperienza culturale interattiva. Coinvolgendo fisicamente gli spettatori nella produzione dell'energia necessaria allo spettacolo, il progetto vuole promuovere consapevolezza ecologica e stimolare buone pratiche legate alla transizione energetica.

## 2.6 Internet machine (Arnall T.)

### Descrizione

Internet Machine è un'installazione video su tre schermi realizzata dall'artista e regista Timo Arnall. Il progetto documenta l'interno di un grande data center gestito da Telefonica ad Alcalá, in Spagna, rendendo visibile la materialità dell'infrastruttura che sostiene la rete Internet. Presentato per la prima volta a Transmediale 2015, il film dura 6 minuti e 40 secondi.



Figura 15  
Proiezione del film Internet machine (Elasticspace)

### Funzionamento

L'installazione è stata prodotta attraverso un complesso lavoro di ripresa e post-produzione: video in alta risoluzione, immagini fisse, camera mapping e ricostruzioni 3D. Il materiale è stato girato con una Canon 5D mkIII e poi elaborato digitalmente per creare movimenti di camera in ambienti virtuali. L'output finale è una proiezione sincronizzata in 4K su tre schermi, che immerge lo spettatore nell'ambiente fisico del data center.

### Obiettivo

L'opera intende smascherare il mito dell'“immaterialità” del cloud, mostrando quanto siano reali, ingombranti e complessi i sistemi fisici necessari per far funzionare Internet. L'obiettivo è rendere visibile l'energia, le tecnologie e le architetture che normalmente restano nascoste, stimolando una riflessione critica sulla dipendenza digitale e sull'impatto ambientale dei data center.

## 2.7 MB > CO<sub>2</sub> (Biersteker T.)

### Descrizione

L'installazione MB > CO<sub>2</sub> traduce il traffico dati generato dagli utenti (es. videochiamate Zoom) in emissioni di CO<sub>2</sub> visibili. Ogni MB trasferito viene tradotto in un "soffio" di CO<sub>2</sub> sotto forma di fumo o vapore dentro un ecosistema vivente.



Fig 16  
Immagine dell'opera MB > CO<sub>2</sub> (Biersteker T.)

### Funzionamento

I visitatori, interagendo con dispositivi digitali, attivano sensori che misurano il traffico dati in tempo reale e trasformano queste informazioni in quantità calibrate di CO<sub>2</sub>.

### Obiettivo

Rende visibile l'impatto nascosto del consumo digitale e dell'infrastruttura dei data center, illustrando quanta energia e quante emissioni si celano dietro ai nostri gesti online.

# Altri casi studio

## **Project Liberty Experience** (Anadol R.)

Installazione immersiva che converte i dati degli utenti in visualizzazioni artistiche, invitandoli a riflettere sul valore e sul controllo delle proprie informazioni digitali.

## **sLEDgehammer** (Rock the Bike)

Installazione interattiva in cui l'intensità della luce generata dai led aumenta in base alla forza con cui si pedala, trasformando l'energia muscolare in un'esperienza visiva immediata e coinvolgente.

## **WeWattTree** (Nguyen A.)

Installazione interattiva che utilizza la pedalata per generare energia e filtrare l'aria, coinvolgendo le persone in un'esperienza collettiva sostenibile.

## **Lumina 2025** (LeMonde Studio)

Installazione artistica partecipativa, con biciclette fisse che proiettano luci, suoni e versi poetici quando si pedala, trasformando l'energia muscolare in un'esperienza multisensoriale lungo il Milwaukee RiverWalk.

## **Cyclerate** (Electric Pedals)

Installazione interattiva, dove le persone pedalano su comandi manuali o biciclette, generando energia che alimenta luci LED colorate, casse Bluetooth e stazioni di ricarica USB; l'intensità luminosa aumenta progressivamente con la pedalata, fino a innescare un effetto scenografico programmato.



# Capitolo 3

## Siti web

Casi studio



# Introduzione siti web

Nell'era digitale, la nostra interazione quotidiana con internet avviene attraverso interfacce utente intuitive e apparentemente leggere. Tuttavia, dietro questa semplicità si cela un'infrastruttura complessa e energivora, costituita da server, data center e processi di trasmissione dati che consumano ingenti quantità di energia, spesso definita "energia grigia" o "energia nascosta".

Comprendere l'impatto ambientale di questa infrastruttura è cruciale per promuovere una consapevolezza digitale più responsabile. In questo capitolo troverete un elenco di casi studio di siti web e progetti online che, attraverso approcci informativi, interattivi o artistici, cercano di rendere visibile e comprensibile il consumo energetico celato dietro le nostre attività digitali quotidiane.

## Legenda



Visualizzazione energetica



Advocacy



Partecipazione collettiva



Informa

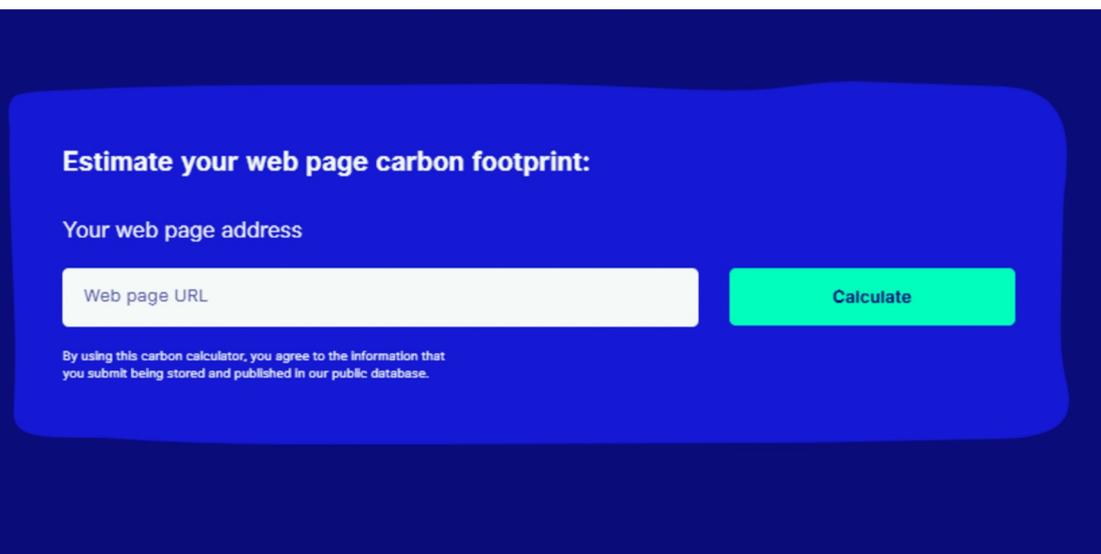


Messaggio educativo

## 3.1 Website Carbon Calculator

### Descrizione

Website Carbon Calculator è uno strumento gratuito sviluppato da Wholegrain Digital, agenzia pioniera nel campo della sostenibilità digitale. Permette di stimare l'impronta di carbonio di una pagina web e di confrontare le prestazioni ambientali di diversi siti, rendendo tangibile l'impatto climatico dell'attività online.



**Figura 17**  
Calcolatore di carbon foot print (Website Carbon Calculator)

### Funzionamento

La calcolatrice si basa su una metodologia proprietaria che valuta diversi parametri: dimensioni della pagina, efficienza di codici e file, hosting (preferibilmente su server alimentati da energia rinnovabile), e pratiche di design sostenibile. I risultati vengono inseriti in un database pubblico e classificati secondo un sistema di valutazione per evidenziare l'efficienza energetica dei siti analizzati.

### Obbiettivo

Lo strumento mira a sensibilizzare sul fatto che anche i siti web consumano energia e producono emissioni. Promuove l'adozione di pratiche di web design più sostenibili, comunicando che il traffico digitale ha un peso ecologico comparabile a quello di settori tradizionalmente inquinanti, come l'aviazione. Il messaggio chiave è che è possibile costruire un Internet a basse emissioni, responsabile e trasparente.

## 3.2 Low Tech Magazine (De Decker K.)

### Descrizione

Low-tech Magazine è una rivista online e cartacea dedicata alla riflessione critica sull'innovazione tecnologica, fondata nel 2007. Pubblica articoli approfonditi su tecnologie passate e soluzioni sostenibili, con un approccio editoriale che privilegia la qualità alla quantità. Dal 2019 esiste anche una versione cartacea, mentre un blog parallelo, No Tech Magazine, offre aggiornamenti frequenti.



**Figura 18**  
Informazioni sul consumo e lo stato energetico del sito “Low Tech Magazine”



### Funzionamento

Il sito è alimentato interamente da energia solare tramite un sistema di self-hosting, rendendolo uno dei rari esempi di solar-powered web. Il design minimalista e ottimizzato riduce drasticamente il consumo energetico: immagini a bassa risoluzione, caricamento leggero e possibilità di lettura offline. In caso di assenza di luce solare, il sito può temporaneamente risultare non disponibile, rendendo tangibile la dipendenza da fonti rinnovabili.

### Obbiettivo

Il progetto promuove una visione alternativa al mito del progresso tecnologico continuo, valorizzando conoscenze storiche e soluzioni a basso impatto. Il messaggio centrale è che non tutte le innovazioni portano a un reale miglioramento, e che le tecnologie del passato possono offrire risposte sostenibili ai problemi contemporanei, specialmente in ambito energetico e ambientale.

## 3.3 The Shift Project

### Descrizione

The Shift Project è un think tank francese indipendente e senza scopo di lucro, fondato nel 2010 con l'obiettivo di promuovere la transizione verso un'economia post-carbonio. Riunisce esperti, stakeholder economici e accademici per affrontare in modo scientifico e sistemico le sfide energetiche e climatiche del XXI secolo.



Figura 19  
Logo "The Shift Project"

### Funzionamento

The Shift Project opera attraverso due modalità principali: Informare e Influenzare.

Per Informare:

- Istituisce gruppi di lavoro sui temi più sensibili e decisivi della transizione.
- Produce dichiarazioni robuste e quantificate sugli aspetti chiave della transizione.
- Presenta proposte innovative, con particolare attenzione a soluzioni su scala adeguata.
- È una fonte proattiva di proposte.

Per Influenzare:

- Lancia campagne di lobbying rivolte ai decisori politici ed economici per promuovere le raccomandazioni dei suoi gruppi di lavoro.
- Ospita eventi volti a incoraggiare la discussione tra i diversi stakeholder interessati alle questioni climatiche ed energetiche.
- Costruisce partnership con organizzazioni professionali e attori accademici.
- Dal 2010, ha influenzato significativamente le politiche nazionali ed europee in materia di clima ed energia.

### Obiettivo

L'organizzazione si propone di informare e guidare il dibattito pubblico e politico sulla necessità di una transizione energetica strutturata, realistica e scientificamente fondata. Il messaggio centrale è che il cambiamento è inevitabile e va gestito in modo collaborativo, strategico e basato su dati, evitando approcci ideologici o disinformati.

## 3.4 Green Web Foundation

### Descrizione

Green Web Foundation è un'organizzazione non profit indipendente che promuove la transizione verso un Internet alimentato da energia rinnovabile. Il progetto si fonda sull'ambizioso obiettivo di rendere la rete globale libera dai combustibili fossili entro il 2030, combinando tecnologia, dati aperti, formazione e advocacy.

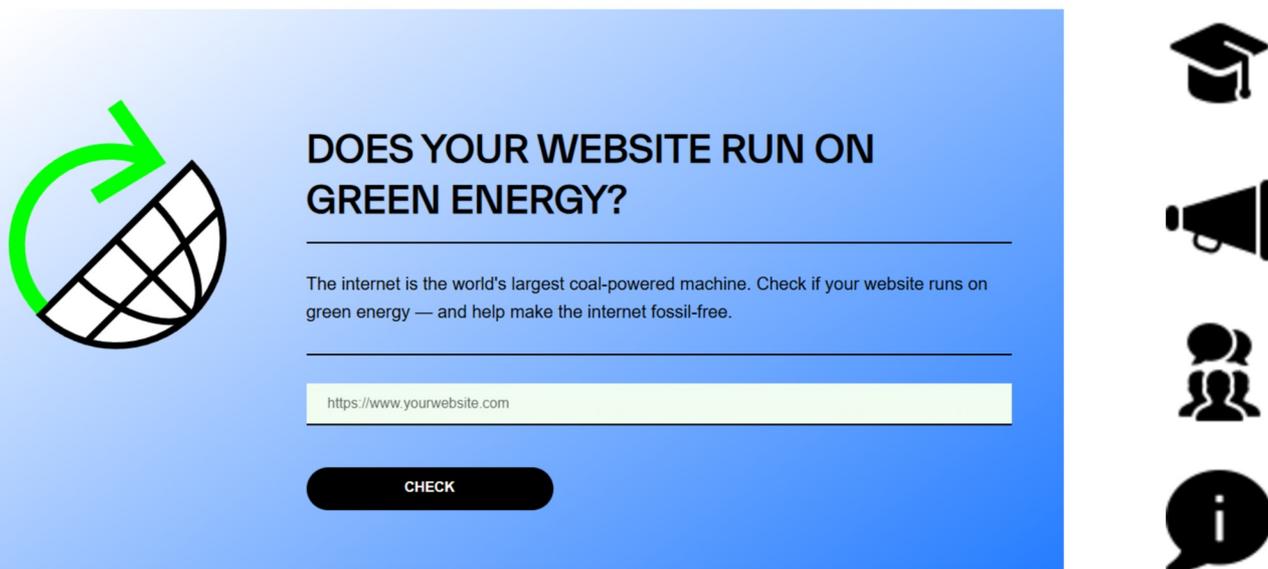


Figura 20  
Calcolatore di consumo energetico per siti web (Green Web Foundation)

### Funzionamento

La fondazione mette a disposizione una serie di strumenti open source, come:

- Green Web Check: verifica se un sito è alimentato da energia verde.
- Hosting Directory: elenco di provider green.
- CO2.js: una libreria JavaScript per calcolare le emissioni di carbonio di siti e applicazioni.

Inoltre, promuove la formazione attraverso workshop, pubblica Branch Magazine e offre badge per siti sostenibili.

### Obiettivo

L'organizzazione si impegna a rendere visibile il consumo energetico e le emissioni legate all'uso di Internet, sottolineando come la rete globale sia, ad oggi, una delle più grandi infrastrutture alimentate a carbone. Il messaggio chiave è che un web sostenibile è possibile, ma richiede scelte consapevoli sia da parte degli utenti che degli sviluppatori e provider.

## 3.5 Climate Action Tech

### Descrizione

ClimateAction.tech è una comunità internazionale di lavoratori del settore tecnologico impegnati nell'azione climatica. Si configura come uno spazio collaborativo e decentralizzato in cui professionisti IT si uniscono per condividere conoscenze, discutere soluzioni e promuovere un cambiamento sostenibile nel settore digitale. La comunità è attiva dal 2019 ed è basata principalmente su interazioni online.

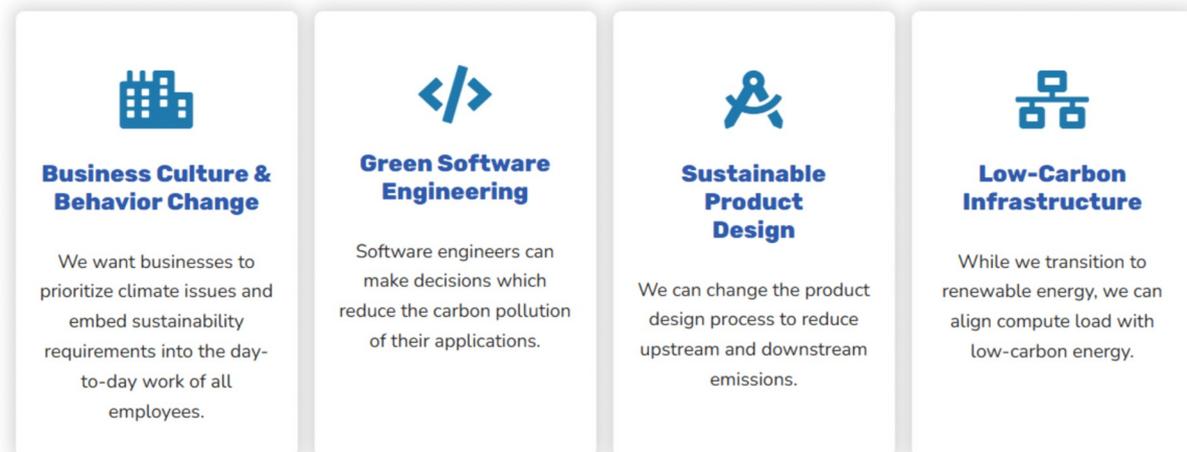
### Funzionamento

La piattaforma di riferimento è Slack, dove i membri discutono e collaborano in canali tematici. Le aree di lavoro principali includono:

- Cultura aziendale e cambiamento comportamentale;
- Ingegneria del software a basso impatto;
- Progettazione di prodotti sostenibili;
- Ottimizzazione dell'infrastruttura digitale per ridurre le emissioni.

CAT fornisce inoltre risorse condivise, sessioni di coworking e toolkit per integrare la sostenibilità nei processi di sviluppo e progettazione.

### Obbiettivo



**Figura 21**  
Obbiettivi del progetto “Climate action” (Climate Action Tech)

## 3.6 Positive Internet Microsite (Accent Design)

### Descrizione

Il Positive Internet Microsite è un sito vetrina creato da Accent Design per promuovere un hosting verde. Progettato come sito microscopico, serve come esempio di sostenibilità digitale, con un'impronta di 0,15 g CO<sub>2</sub> per visita e punteggio di efficienza del 100% nei test Lighthouse.

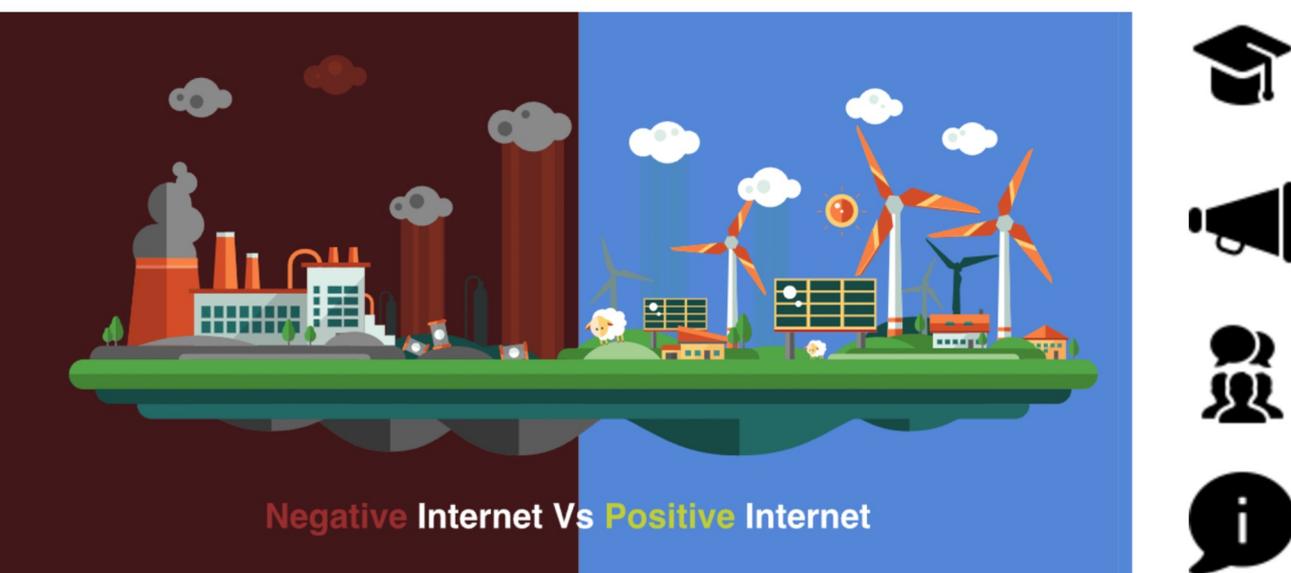


Figura 22  
Immagine del sito Positive Internet Microsite (Accent Design)

### Funzionamento

Viene adottato un design ultraleggero: HTML/CSS minimi, zero JavaScript superfluo, hosting green e immagini ottimizzate. Il risultato è un sito pressoché privo di emissioni, grazie anche al dominio “carbon-conscious”.

### Obbiettivo

Il sito mira a dimostrare che anche piattaforme promozionali e vetrine aziendali possono essere realizzate a bassissimo impatto energetico. Il messaggio è: “la sostenibilità digitale è praticabile e misurabile – anche per un business online”.

# Altri casi studio

## **Internet Carbon Footprint Calculator (EcoTree)**

Questo sito calcola l'impronta ecologica della tua attività online (streaming, navigazione, connessioni) in base a fattori come: tipologia di connessione e numero di dispositivi. Inoltre suggerimenti pratici per ridurre l'impatto.

## **Carbonalyser (Climate Action Accelerator)**

Climate Action Accelerator ha creato un tool browser-based che monitora e visualizza in tempo reale il consumo energetico e le emissioni di CO<sub>2</sub> legate alla navigazione web.

## **DigitalFootprint**

Una web app basata su mappa interattiva 3D che illustra il percorso dei dati nel mondo, stimando le emissioni di CO<sub>2</sub> generate da ogni visita. Mette in relazione il consumo digitale con la distanza percorsa dai dati e le emissioni equivalenti.

## **Estimating Digital Emissions (Sustainable Web Design)**

Progetto open-source che definisce una metodologia accessibile per stimare le emissioni GHG prodotte da prodotti e servizi digitali, utile per sviluppatori e designer.





# Capitolo 4

## Energia umana



# Introduzione

Con l'avvento della Rivoluzione Industriale e la conseguente esplosione dello sfruttamento dei combustibili fossili, l'umanità ha gradualmente perso la memoria di un'epoca in cui la forza muscolare era la principale fonte di energia. In un passato non così lontano, macchinari ingegnosi, azionati dalla potenza umana, permettevano di svolgere compiti altrimenti estenuanti.

Fin dalle civiltà più antiche, l'ingegno umano aveva ideato soluzioni per moltiplicare la forza lavoro. Ruote, leve, carrucole e altri meccanismi permettevano di sollevare pesi enormi, macinare il grano, pompare l'acqua e compiere una vasta gamma di attività. L'energia muscolare, combinata con la sapiente applicazione di principi meccanici, consentiva di realizzare opere straordinarie, dalle piramidi egizie ai mulini a vento medievali.

L'avvento del motore a vapore e, successivamente, dei motori a combustione interna, ha segnato una svolta epocale. La disponibilità di energia a basso costo e in grandi quantità ha innescato un'ondata di innovazione tecnologica, trasformando radicalmente la società. Tuttavia, questa rivoluzione ha anche comportato una progressiva dimenticanza delle antiche tecniche e dei macchinari azionati dalla forza umana.

## 4.1 I valori dell'energia umana

Nel corso della storia, l'essere umano ha costantemente cercato di comprendere e quantificare lo sforzo fisico richiesto per il lavoro. Giuseppe Colombo, figura di spicco nell'ambito dell'ingegneria e della meccanica, ha dedicato una parte significativa della sua ricerca alla misurazione e all'analisi del lavoro umano. Le sue opere forniscono dati preziosi sullo sforzo fisico necessario per svolgere diverse attività, offrendo una prospettiva scientifica sul rapporto tra l'uomo e la macchina.

Nel "Manuale dell'ingegnere" 1877, Giuseppe Colombo riporta quelli che sono i dati sulla forza dell'uomo:

### MOTORI ANIMATI

#### Dati sulla forza dell' uomo e del cavallo

*1) Uomo. Peso medio 70 kil ; lavoro medio al 1 " , lavorando tutto il giorno 6-9 km. = 1/12-1/8 di cavallo vapore ; lavorando a intermittenza con intervalli di riposo, 18-24 km. Sforzo su una manovella, a lavoro continuo 8-10 kil. , con una veloc. di 0m, 750m, 90 ; lavorando per breve tempo con intervalli di riposo 25-30 kil . Proporzioni più convenienti delle 153 manovelle a mano : braccio della manov. = 0m,30 - 0,40 ; altezza dal terreno 1m - 1m, 10 ; lungh. dell' impugnatura per un uomo 0m, 300m, 40, per due uomini 0m, 450m, 55 ; diametro del- l'asse = grossezza del braccio (tondo od ottagon) 3545 mm. per 1-2 uomini. Un uomo può esercitare, tirando o spingendo per brevissimo tempo, uno sforzo massimo di 50 60 kil.; può sollevare da terra un peso massimo di 200-300 kl. e portare un carico mass. di 150-200 kil. Veloc. alla cor- a 7m al 1" ; al passo celere 2m ; al passo di marcia 1,50 ; lungh. media del passo - = 0m,70.*

## 4.2 Vantaggi e svantaggi dell'energia umana

Svantaggi dell'utilizzo della forza muscolare umana come fonte di energia:



### Basso rendimento energetico

Il corpo umano ha un'efficienza del 20–30%, simile a un motore termico.

Gran parte dell'energia prodotta viene dissipata sotto forma di calore.



### Potenza muscolare limitata

Una persona adulta può produrre in media 70–200 W, ma solo per tempi limitati.

Picchi brevi di 750–1500 W sono possibili, ma insostenibili nel lungo periodo.



### Influenza di fattori fisiologici e ambientali

Sesso, età, massa corporea, allenamento e temperatura ambientale influenzano drasticamente la potenza generabile. Il calore accumulato in ambienti chiusi riduce ulteriormente la resa.



### Scarsa convenienza economica

Dieci ore di pedalata producono circa 1 kWh, equivalente a meno di 30 centesimi di euro. Il bilancio costo-sforzo è negativo per l'uso quotidiano o residenziale.



### Incompatibilità con stili di vita ad alto consumo

Le macchine a pedali non possono sostenere i consumi di una vita moderna.

Frigoriferi, condizionatori, cucine elettriche richiedono potenze impossibili da fornire pedalando.

Svantaggi dell'utilizzo della forza muscolare umana come fonte di energia:



### **Benessere fisico**

L'attività fisica necessaria per generare energia contribuisce al miglioramento della salute e della forma fisica. Pedalare regolarmente può favorire la circolazione, ridurre il rischio di patologie e migliorare il tono muscolare.



### **Maggiore consapevolezza nei consumi**

Produrre energia manualmente aiuta a comprendere quanto sforzo richiedano anche piccoli consumi quotidiani. Questa consapevolezza può incentivare uno stile di vita più sobrio, orientato all'efficienza e al risparmio.



### **Energia a zero emissioni**

L'energia muscolare non produce inquinamento atmosferico, idrico o del suolo. È una fonte completamente "pulita", senza emissioni nocive né rifiuti.



### **Fonte rinnovabile e continua**

La forza muscolare è una risorsa rinnovabile, finché l'essere umano è in grado di muoversi. Non dipende da riserve fossili o risorse minerarie.



### **Decentralizzazione energetica**

L'energia muscolare può essere prodotta ovunque, in qualsiasi momento, senza bisogno di reti o infrastrutture complesse. Ideale per autosufficienza, educazione ambientale o contesti off-grid.



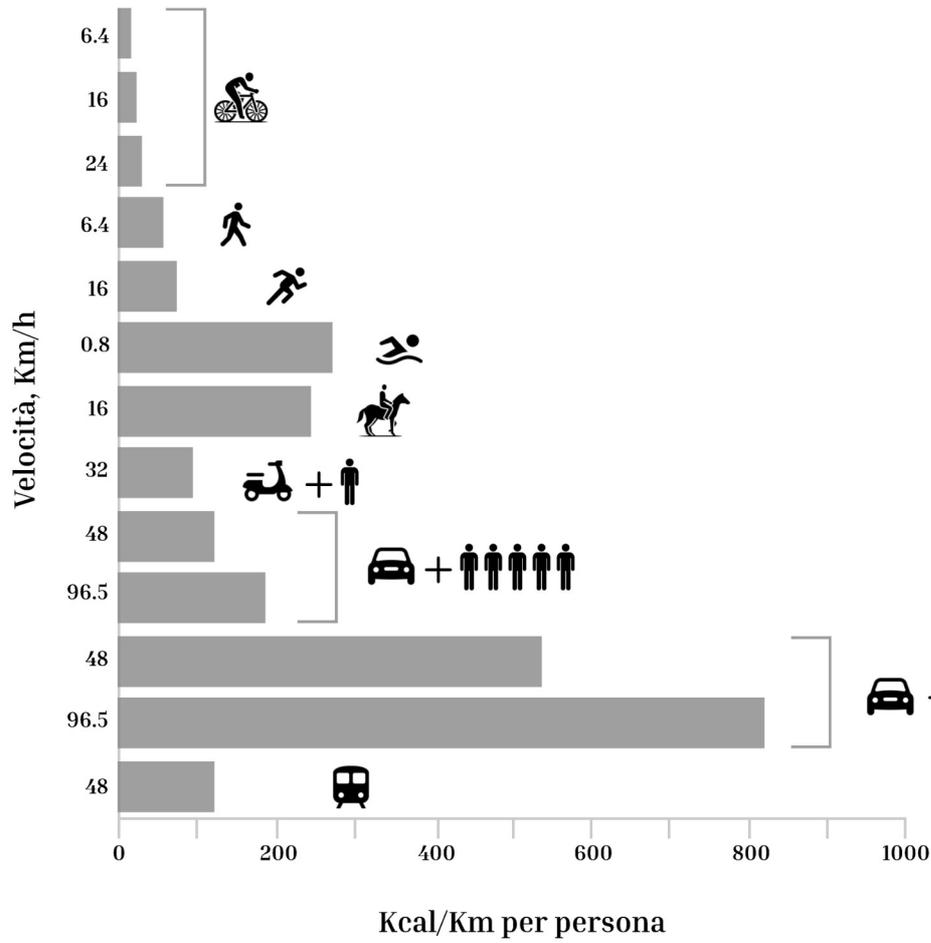
### **Accessibilità in contesti svantaggiati**

In aree remote o a basso reddito, l'energia muscolare rappresenta una risorsa semplice, economica e replicabile. Può garantire accesso all'illuminazione, alla ricarica o a piccoli elettrodomestici anche dove manca la rete elettrica (Amodeo, 2024).

## 4.3 La pedalata

La pedalata, è un movimento ciclico apparentemente semplice che coinvolge numerosi gruppi muscolari. Dalla spinta propulsiva alla stabilizzazione del corpo, ogni fase della rotazione dei pedali rappresenta un'espressione di forza e coordinazione. Tuttavia, al di là della sua funzione primaria di trasporto, la pedalata racchiude in sé un potenziale energetico spesso trascurato. In un'epoca segnata dalla crescente consapevolezza delle sfide ambientali e dalla necessità di transizione verso fonti energetiche sostenibili (Bikeitalia, 2020), riscoprire e sfruttare l'energia cinetica generata da questo gesto così comune assume un'importanza cruciale. Trasformare la semplice azione del pedalare in una fonte di energia utilizzabile non solo offre un'alternativa pulita ai combustibili fossili, ma apre anche nuove prospettive per la produzione decentralizzata e per la promozione di uno stile di vita più attivo e consapevole.

Un aspetto rilevante è rappresentato dalla potenza generabile dalle gambe di un individuo medio. Si stima che il corpo umano possa erogare, in media, un watt per chilogrammo di massa corporea attiva. Pertanto, un uomo adulto di 70 kg è capace di produrre circa 70 W per un periodo di circa dieci ore di attività. È altresì possibile raggiungere potenze maggiori per intervalli di tempo più brevi, come 200 W per un'ora, o picchi considerevoli tra i 750 e i 1500 W per pochi secondi (Iannella, 2024). È fondamentale sottolineare che tali valori sono significativamente modulati da variabili individuali quali il sesso, l'età, la composizione corporea e il livello di allenamento fisico.



**Figura 23**  
 Velocità e consumi per persona in base ai diversi tipi di trasporto (Wilson, Smith, 2020)







# Capitolo 5

## Generatori a pedali

Casi studio

# Introduzione casi studio

Questi casi studio sono stati scelti per mostrare in modo chiaro e concreto come sia possibile alimentare un computer utilizzando la pedalata. Si tratta di esempi pratici, spesso realizzati in modo artigianale, che dimostrano come anche una semplice attività fisica possa generare energia sufficiente per far funzionare dispositivi digitali di uso quotidiano.

L'obiettivo non è solo tecnico, ma anche educativo: attraverso questi progetti, si invita a riflettere sull'energia nascosta che sta dietro ai nostri gesti quotidiani – come accendere un PC – e sul costo ambientale spesso invisibile delle tecnologie digitali. I casi studio illustrano soluzioni reali, accessibili e riproducibili, pensate per sensibilizzare le persone al legame tra sforzo fisico e consumo energetico, promuovendo una maggiore consapevolezza.

# 5.1 How to Build a Bicycle Generator (Mathews A.)

## Descrizione

Progetto fai-da-te per la realizzazione di un generatore elettrico a pedali, pensato per produrre energia elettrica sfruttando una bicicletta montata su rulli. Ideale per attività dimostrative, educative o per piccoli usi domestici a basso consumo.

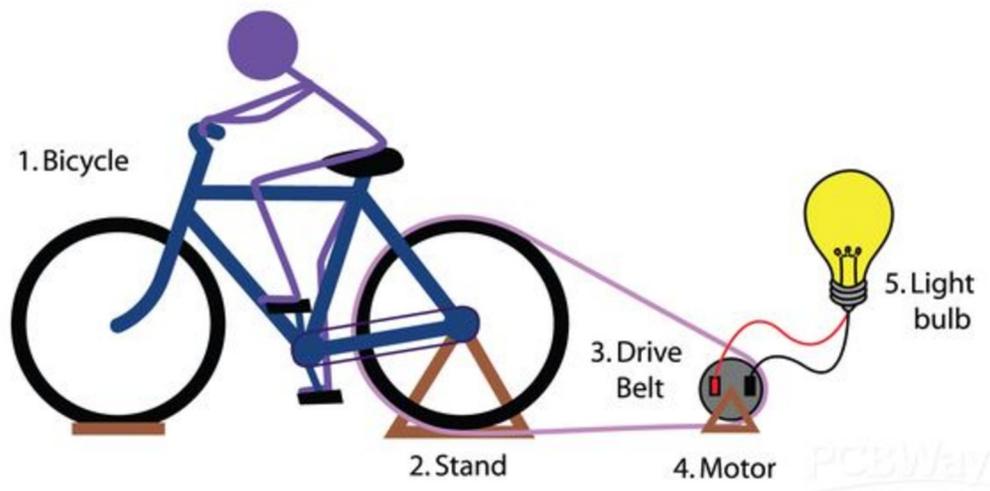


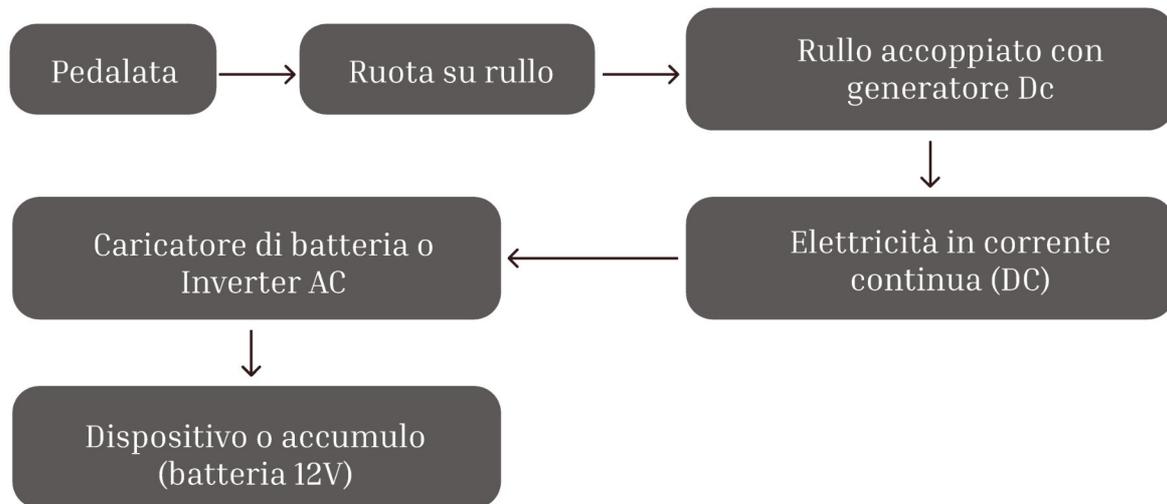
Figura 24  
Schema rappresentativo del progetto

## Obiettivo

L'obiettivo principale è realizzare un generatore a pedali autocostruito, economico e replicabile, che consenta di:

- Comprendere concretamente quanto sforzo fisico è richiesto per produrre energia elettrica.
- Fornire una soluzione off-grid per piccoli carichi elettrici (es. ricarica dispositivi, luci, ventole).
- Usarlo in contesti educativi, come scuole, fiere scientifiche o mostre, per aumentare la consapevolezza energetica.
- Promuovere la sostenibilità e l'autoproduzione energetica tramite energia muscolare.

## Funzionamento



## Componenti principali

- Bicicletta
- Rullo (può essere un tubo metallico, rullo da bici indoor, ecc.)
- Motore DC o alternatore da tapis roulant
- Supporto in legno o metallo per tenere la bici sollevata
- Batteria 12V (piombo-gel o LiFePO4)
- Inverter (se si vuole ottenere 220V)
- Cavi, morsetti, eventuale voltmetro/ammeter



Figura 25  
Immagine del progetto PCB way con tutti i componenti

## 5.2 Pedal Power (Darrel, Waterlution)

### Descrizione

Il progetto Pedal Power di Waterlution è un'iniziativa educativa nata per insegnare il funzionamento dell'energia sostenibile tramite la costruzione di un generatore a pedali. Il progetto è stato realizzato in collaborazione con le scuole e pensato per essere replicabile, con un forte focus sul coinvolgimento pratico di studenti e comunità.



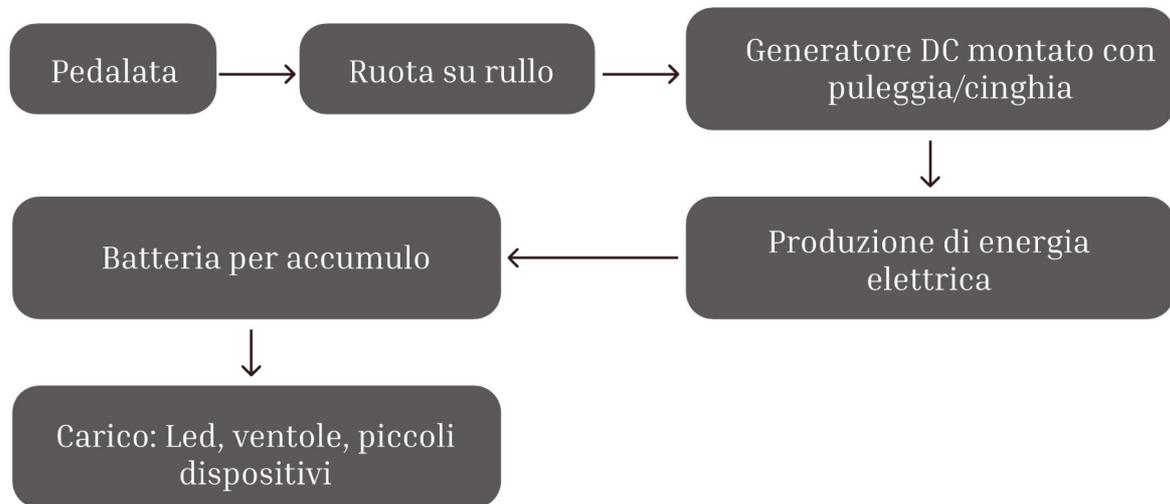
**Figura 26**  
Immagine d'insieme del progetto Pedal Power

### Obbiettivo

L'obbiettivo è educativo e partecipativo:

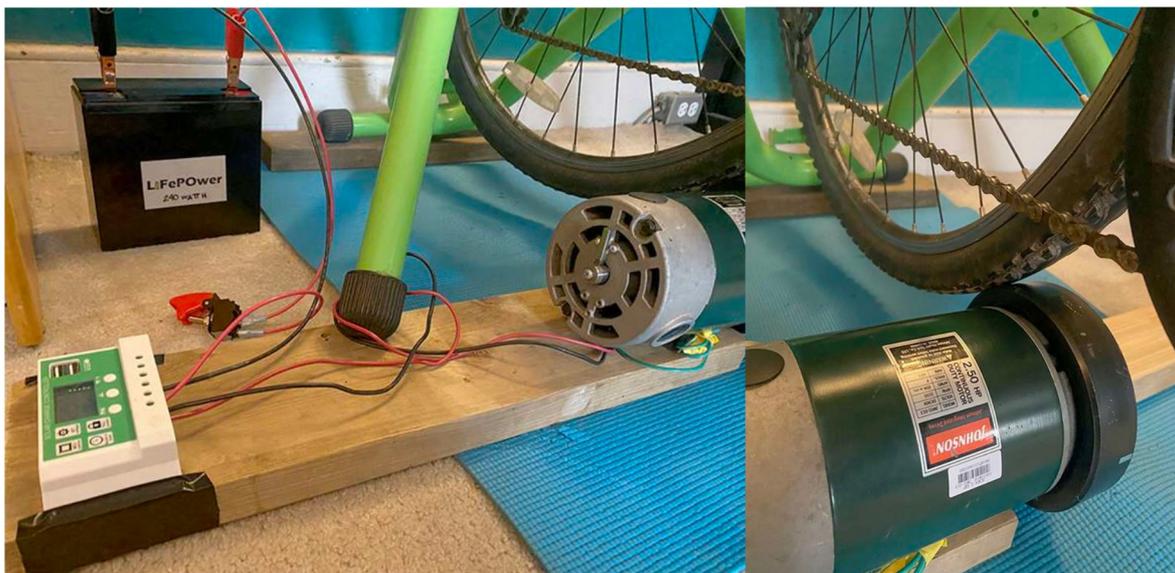
- Insegnare come si produce energia elettrica attraverso l'energia muscolare.
- Sensibilizzare studenti e comunità sul consumo energetico e sull'importanza della sostenibilità.
- Offrire una dimostrazione pratica del legame tra sforzo fisico e consumo elettrico, in particolare per mostrare quanta energia serve per alimentare anche dispositivi semplici.
- Favorire l'apprendimento STEM (Scienza, Tecnologia, Ingegneria e Matematica) con un'attività tangibile e coinvolgente

## Funzionamento



## Componenti principali

- Bicicletta
- Telaio di sostegno (in legno o metallo)
- Cinghia o catena per trasmissione
- Motore DC (recuperato)
- Circuito di ricarica
- Batteria ricaricabile (12V)
- Dispositivi da alimentare (luci, piccoli elettrodomestici)
- Multimetro o voltmetro (opzionale)



**Figura 27**

Immagine della parte elettrica del progetto Pedal Power con tutti i componenti

## 5.3 PedalPC (Gregory J.)

### Descrizione

PedalPC è un progetto sviluppato da David Butcher per alimentare un computer e altri dispositivi elettrici attraverso un sistema di pedalata. La sua innovazione consiste in un setup casalingo, efficiente e compatto, che consente di convertire la forza muscolare in energia elettrica utilizzabile, in particolare per alimentare una postazione di lavoro digitale. Il progetto è pensato per essere pratico, silenzioso, e affidabile nel tempo.

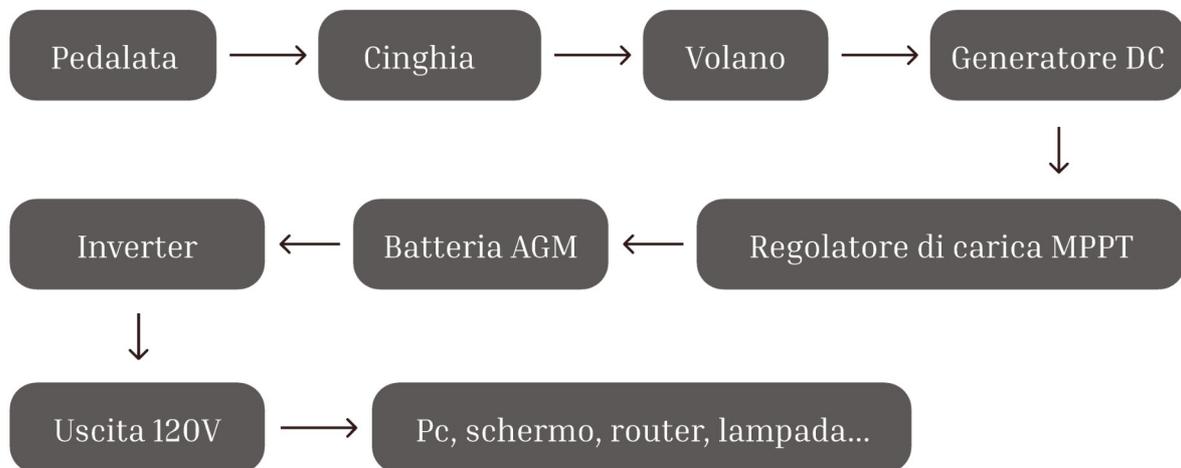


**Figura 28**  
Immagine d'insieme del progetto Pedal Pc

### Obbiettivo

- Fornire un sistema reale, testato e usabile per alimentare una postazione informatica completa senza energia di rete.
- Offrire un'alternativa ecologica e autosufficiente per i lavoratori da remoto, i maker, gli eco-hackers, o le scuole.
- Mostrare in modo tangibile il costo fisico della produzione di energia elettrica, favorendo consapevolezza energetica.
- Ispirare il pubblico a ripensare l'uso dell'energia nella tecnologia quotidiana, mostrando quanto sia energivoro anche un semplice laptop se confrontato con lo sforzo umano.

## Funzionamento



## Componenti principali

- Bicicletta + volano
- Cinghia dentata / puleggia
- Generatore DC brushless 12V
- Regolatore di carica MPPT
- Batteria AGM (12V)
- Inverter 12V->120V
- Raspberry Pi per monitoraggio
- Pannello di controllo con interruttori intelligenti
- Carichi elettrici: PC, router, lampade, ventole



**Figura 29**  
Immagine della parte elettrica del progetto PedalPc

## 5.4 Pedal-Powered Computer (Botche101 Blog)

### Descrizione

Un prototipo artigianale di “bicietta-scrivania” realizzato montando una bicicletta su stand robusti e collegandola a un generatore. Il progetto appare su Make Magazine come dimostrazione di come l’energia muscolare possa alimentare un laptop.

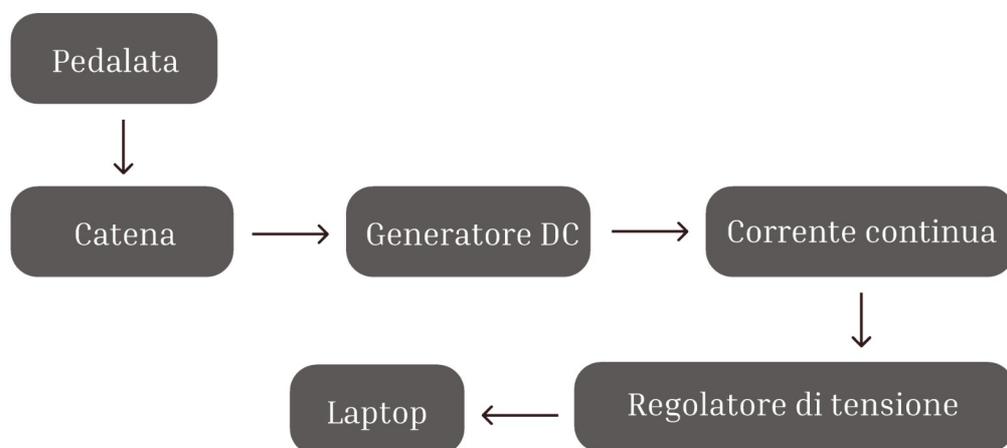


**Figura 30**  
Immagine d’utilizzo del progetto Pedal Power Computer in funzione

### Obiettivo

- **Educativo:** mostra in modo pratico e immediato quanta energia richiede un semplice laptop.
- **Consapevolezza energivora:** rende evidente lo sforzo fisico necessario, sensibilizzando sull’impatto reale del digitale.
- **Accessibilità:** il setup utilizza componenti di facile reperibilità e basso costo (bicietta, motore DC, cavi), adatto a workshop STEAM e comunità fai-da-te.
- **Dimostrativo:** ideale per eventi o laboratori, dove gli utenti “pagano” i watt pedalando per alimentare i propri dispositivi.

## Funzionamento



## Componenti principali

- Pedali
- struttura a tripiede
- Cinghia dentata / puleggia
- Generatore DC
- Regolatore di tensione
- Cerchi in legno



**Figura 31**  
Componenti di Pedal Power Computer



# Capitolo 6

## Generatore a pedali

Progetto

# Introduzione

In questo capitolo viene analizzato nel dettaglio il generatore a pedali, elemento centrale del progetto. L'obiettivo è quello di descrivere in modo chiaro e completo le principali scelte progettuali che hanno guidato la sua realizzazione. Verranno illustrati i dettagli costruttivi, la composizione dei vari componenti e il funzionamento generale del sistema, mettendo in luce il ruolo che ogni parte svolge nel contribuire all'efficienza del dispositivo.

Attraverso questa analisi si vuole offrire una comprensione non solo di ciò che è stato costruito, ma anche delle ragioni che hanno portato ad adottare determinate soluzioni tecniche, con l'intento di sviluppare un sistema pratico, efficace e sostenibile.

## 6.1 Quanto consuma un pc?

Consumo Energetico di una Postazione PC. Il consumo energetico di una postazione PC varia significativamente in base a diversi fattori:

Tipo di PC:

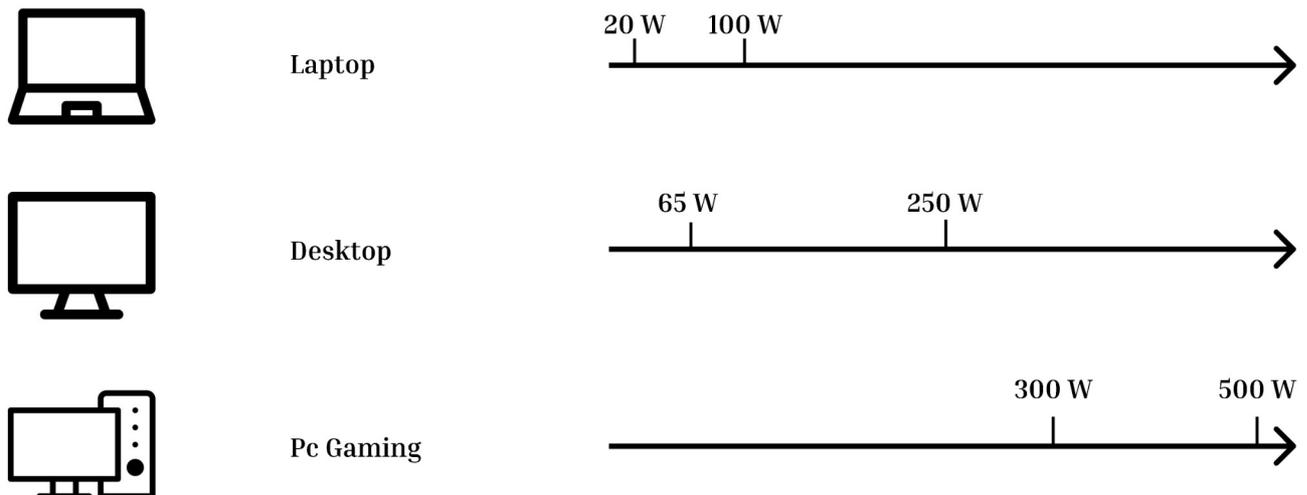


Figura 32  
Consumi relativi alle diverse tipologie di computer

**Componenti:**

Il processore, la scheda video, la memoria RAM, i dischi rigidi e le periferiche (monitor, tastiera, mouse, altoparlanti) contribuiscono al consumo totale. Un monitor LCD può consumare tra i 15 e i 70 Watt, mentre un monitor LED è più efficiente.

Utilizzo: Un PC in idle (inattivo) consuma meno energia rispetto a quando è sotto carico, ad esempio durante l'esecuzione di software pesante, giochi o rendering video (Roux, 2024).

Modalità Stand-by: Anche quando spento ma non scollegato, un PC consuma una piccola quantità di energia, il cosiddetto "consumo fantasma" o "stand-by" (Nexamp, 2024). Questo può variare da pochi Watt a diverse decine di Watt nei sistemi meno efficienti.

**Stima Totale del Consumo Energetico di una Postazione PC (Esempio Medio):**

Consumo attivo (8 ore): Ipotizzando un consumo medio di 150 Watt (PC fisso + monitor), si ha:  $150 \text{ W} * 8 \text{ h} = 1200 \text{ Wh} = 1.2 \text{ kWh}$  al giorno.

Consumo in stand-by (16 ore): Ipotizzando un consumo in stand-by di 10 Watt:  $10 \text{ W} * 16 \text{ h} = 160 \text{ Wh} = 0.16 \text{ kWh}$  al giorno.

Consumo totale giornaliero stimato:  $1.2 \text{ kWh} + 0.16 \text{ kWh} = 1.36 \text{ kWh}$ .

**Consumo totale annuo stimato:**  $1.36 \text{ kWh/giorno} * 365 \text{ giorni} = 496 \text{ kWh all'anno}$ .

**Confronto con il Consumo di uno "Schiavo Energetico":**

Il concetto di "schiavo energetico" si riferisce all'energia che otteniamo da fonti esterne al nostro corpo per svolgere compiti che altrimenti richiederebbero sforzo umano. Un modo per quantificare questo è considerare la potenza che un essere umano può generare.

Potenza Umana Continuativa: Un adulto in buona salute può generare una potenza continuativa di circa 50-75 Watt per diverse ore di lavoro fisico.

Ora confrontiamo l'energia consumata dal PC con l'energia "richiesta" a uno "schiavo energetico" umano per produrre la stessa quantità di lavoro:

Energia consumata dal PC in 8 ore:

$1.2 \text{ kWh} = 1200 \text{ Wh}$

Energia che uno schiavo energetico umano produrrebbe in 8 ore (ipotizzando 75 Watt):

$75 \text{ W} * 8 \text{ h} = 0.6 \text{ kWh} = 600 \text{ Wh}$

**Conclusione del Confronto:**

In questo esempio, il consumo energetico della postazione PC durante 8 ore di utilizzo attivo è circa il doppio (1.2 kWh vs 0.6 kWh) dell'energia che un essere umano potrebbe produrre pedalando per lo stesso periodo di tempo (considerando una stima generosa della potenza umana continuativa).

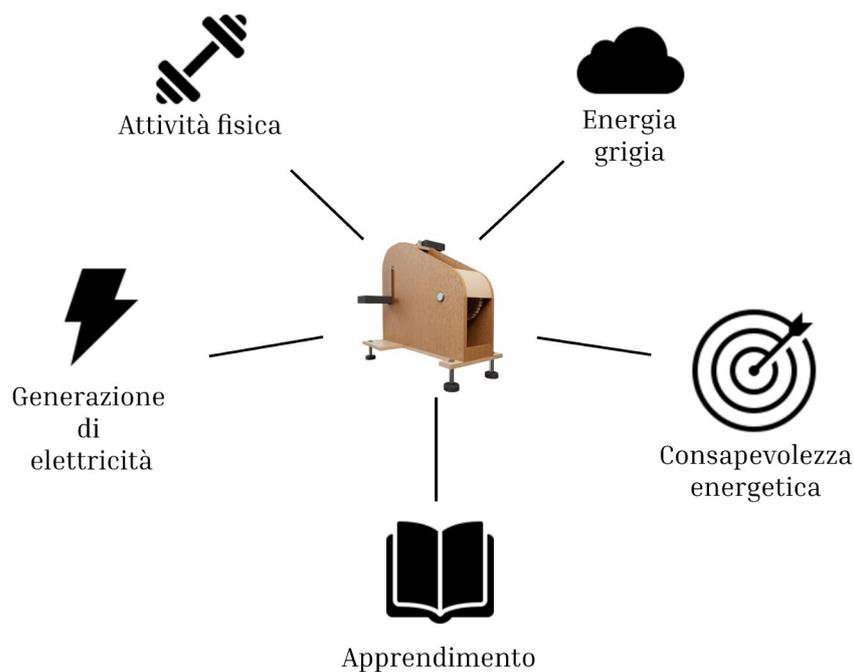
Se consideriamo l'intero giorno (incluso lo stand-by), il consumo del PC (1.36 kWh) è ancora significativamente superiore all'energia che una persona potrebbe produrre in 8 ore di lavoro fisico continuativo.

La progettazione del generatore a pedali non mira ad essere un'alternativa alla corrente elettrica per il funzionamento delle nostre postazioni Pc, ha invece l'obiettivo di far comprendere la quantità di energia legata al funzionamento dei nostri dispositivi e l'energia grigia che si nasconde dietro internet.

## 6.2 Concept

In un'epoca in cui il digitale è diventato invisibile, istantaneo e apparentemente privo di peso, questa tesi vuole restituire fisicità e misura al nostro consumo di energia.

Il progetto si concentra sulla progettazione di un generatore elettrico a pedali, compatto e accessibile, capace di alimentare una postazione PC. Ma più che sulla produzione energetica in sé, l'obiettivo è visualizzare lo sforzo umano necessario per alimentare il digitale, creando un'esperienza tangibile e formativa.



**Figura 33**  
Mappa degli obiettivi del generatore a pedali

### Obiettivi del concept

► **Obiettivo tecnico**

Progettare un generatore a pedali compatto, integrabile sotto una scrivania, in grado di produrre energia sufficiente per alimentare un computer.

► **Obiettivo esperienziale**

Far sperimentare all'utente la fatica necessaria per produrre ciò che si consuma digitalmente, trasformando un gesto banale, come quello di navigare online, in un gesto consapevole e misurabile.

► **Obiettivo educativo**

Visualizzare il concetto di energia grigia digitale, ovvero l'insieme delle risorse energetiche nascoste, normalmente ignorate dall'utente finale.

## Target

Il progetto si rivolge a un ampio pubblico sensibile al tema della sostenibilità, con particolare attenzione a:

- **Studenti:** come strumento educativo e sperimentale per comprendere i concetti di energia e consumo digitale.
- **Lavoratori da remoto:** come arredo funzionale e simbolico per riflettere sulla sostenibilità del proprio lavoro digitale quotidiano.
- **Installazioni didattiche:** in scuole, università o spazi pubblici, come oggetto interattivo per progetti STEAM e educazione ambientale.
- **Musei scientifici:** dove il generatore può essere inserito come exhibit dimostrativo sui consumi nascosti delle tecnologie digitali.

## Contesto

Il generatore a pedali trova applicazione in contesti sia temporanei sia stabili:

- **Installazioni semi-permanenti** in spazi pubblici o scolastici, dove può restare a disposizione dell'utenza per esplorazioni autonome o guidate.
- **Arredo integrato per uffici consapevoli**, dove l'oggetto non solo produce energia ma stimola una riflessione quotidiana sul consumo energetico del lavoro digitale.
- **Laboratori di sostenibilità digitale**, dove può essere strumento centrale per workshop su data center, internet, cloud e carbon footprint.
- **Eventi divulgativi e mostre temporanee**, dove può servire come catalizzatore per attività interattive legate a energia, corpo e tecnologia.

## 6.3 Descrizione



**Figura 34**  
Vista anteriore del generatore a pedali

I pedali sono integrati direttamente nella struttura, ottimizzando lo spazio e rendendo il sistema stabile e adatto a un utilizzo da seduti, ad esempio sotto una scrivania.

Questo generatore a pedali è un dispositivo compatto progettato per trasformare l'energia meccanica della pedalata in energia elettrica. La struttura in legno racchiude un sistema a doppia trasmissione a catena, visibile in parte dall'apertura centrale, che consente di moltiplicare la velocità di rotazione fino a raggiungere i giri necessari per alimentare un generatore DC.



**Figura 35**  
Vista posteriore del generatore a pedali

## 6.4 Scelte progettuali

### Semplicità

Il progetto mira alla realizzazione di un generatore a pedali in grado di produrre energia per alimentare un computer, i componenti scelti sono essenziali per il funzionamento corretto del dispositivo e sono stati selezionati in modo tale da essere facilmente reperibili anche in sul mercato dell'usato.

### Compattezza

La disposizione dei componenti all'interno della struttura non è casuale. I componenti sono disposti in modo tale da rendere il più compatto possibile il generatore, rendendolo facile da trasportare e facilmente collocabile sotto una scrivania. Lo spessore ridotto permette di avere una comoda distanza tra i pedali, simile a quella di una normale bicicletta.

### Didattica

La struttura presenta alcune aperture nella parte centrale, ciò permette di vedere all'interno del sistema e capire come funzionano gli ingranaggi. Essendo un oggetto didattico questo permette di spiegare meglio il funzionamento del generatore a pedali. Le aperture permettono anche di accedere più facilmente agli ingranaggi in caso di un mal funzionamento.

### Stabilità

Alla base della struttura sono stati inseriti 4 piedini regolabili con la testa in gomma. Adottando questa soluzione è possibile regolare l'inclinazione e l'altezza del generatore a pedali, ciò rende più comoda la pedalata anche a utenti di altezze diverse. La testa in gomma ruvida aiuta a mantenere stabile il generatore e evita che quest'ultimo scivoli in avanti o si sposti durante l'utilizzo.

## 6.5 Generatore e rapporto

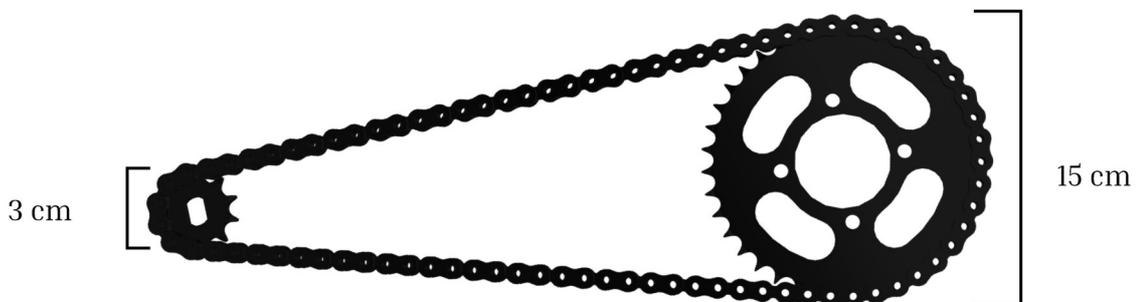


**Figura 36**  
Render motore a magneti permanenti 350W

Il motore elettrico scelto è un motore a magneti permanenti da 350 W, questo motore partendo dalla rotazione dell'albero, generata dalla pedalata, induce un flusso magnetico che produce tensione elettrica.

Questo tipo di motore:

- Funziona bene anche se la fonte di energia (pedalata) è discontinua o a bassa velocità iniziale.
- E' compatto, leggero, affidabile e facilmente reperibile
- Può alimentare inverter che convertono la DC in AC (corrente alternata).
- Necessità di 2000 giri/giri/min per ottenere la tensione utile.



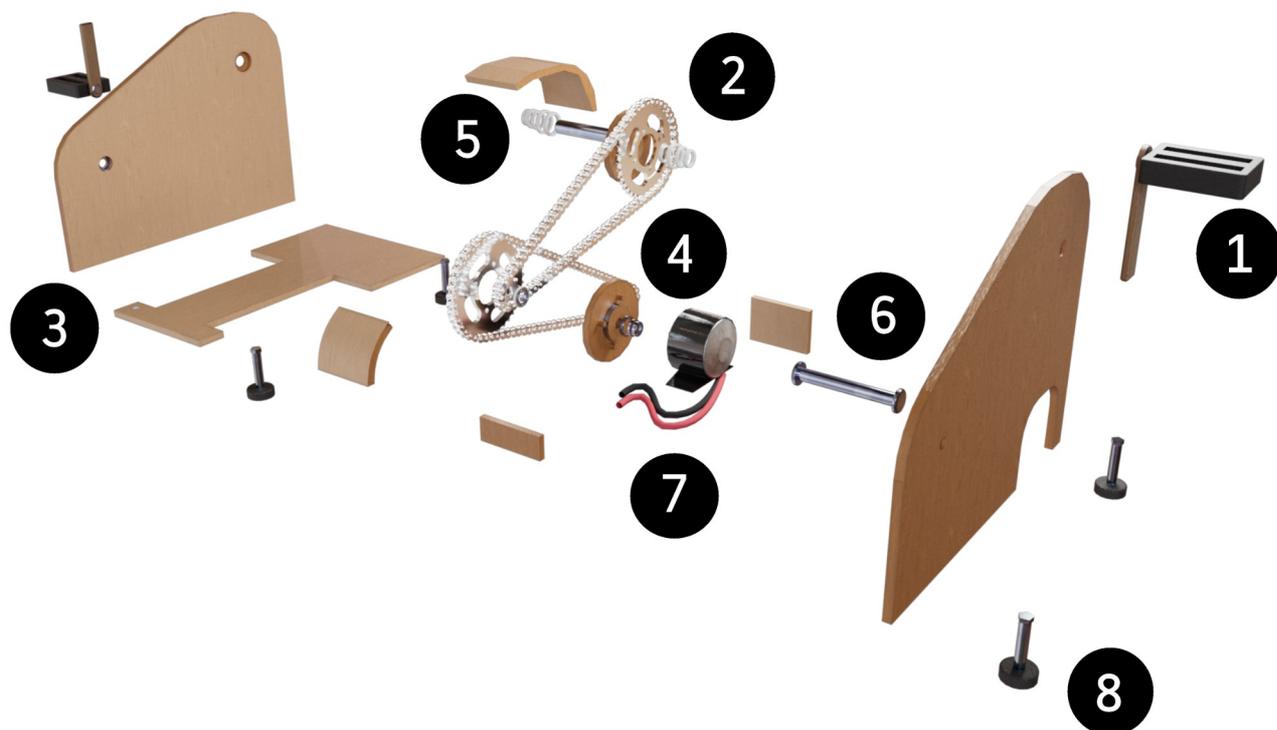
**Figura 37**  
Immagine rapporto tra le corone

Per arrivare al numero necessario per ottenere la tensione utile (2000 giri/min) è necessario accoppiare due pulegge con dei rapporti specifici.

Considerando che la cadenza di pedalata media sia di circa 80 giri/min per arrivare al numero di giri desiderato sarà necessario accoppiare due rapporti da 5. Questi rapporti sono stati ottenuti utilizzando una corona da 15cm di diametro e una più piccola da 3 cm di diametro in entrambi i rapporti.

Combinati tra loro  $80\text{giri/min} \times 5$  (primo rapporto)  $\times 5$  (secondo rapporto) si ottengono i 2000giri/min necessari per far funzionare il motore.

## 6.6 Componenti



**Figura 38**  
Esploso raffigurante i componenti del generatore

Nelle seguenti pagine verranno presentati i componenti principali che costituiscono il generatore a pedali, accompagnati da una descrizione delle rispettive funzioni. L'obiettivo è offrire una visione chiara e sintetica degli elementi che ne permettono il corretto funzionamento, evidenziando il ruolo che ciascuno di essi ricopre all'interno del progetto.

## 1 Pedali



**Descrizione:** Pedali standard da bici, si possono usare dei pedali recuperati da una vecchia bici o acquistarne di nuovi.

**Funzione:** Generano energia meccanica attraverso il movimento delle gambe dell'utente.



## 2 Corona e catena

**Descrizione:** Disco metallico o plastico fissato sull'asse dei pedali.

**Funzione:** Trasmette il moto rotatorio ai componenti successivi tramite la catena.



## 3 Struttura

**Descrizione:** Struttura semplice in legno.

**Funzione:** Ha la funzione di sostenere e organizzare la posizione di tutti i componenti. Semplice e leggera permette un trasporto e assemblamento più facile ed efficace. Le aperture sulla parte centrale permettono di vedere il funzionamento degli ingranaggi in modo da semplificare l'attività didattica, inoltre permette un facile accesso in caso di necessaria manutenzione.



## 4 Supporto per corone

**Descrizione:** Supporti in legno realizzati per incastrarsi nelle corone scelte.

**Funzione:** Hanno il compito di collegare le corone ai relativi alberi e permettere la trasmissione del moto rotatorio.



### 5 Cuscinetti

**Descrizione:** Sistema di trasmissione standard da bicicletta.  
**Funzione:** Ha la funzione di ridurre l'attrito del movimento rotatorio tra l'albero e la corona.



### 6 Albero

**Descrizione:** Componente cilindrico metallico  
**Funzione:** Trasmettono coppia e moto rotatorio. Permettono di collegare le pulegge tra di loro.



### 7 Generatore

**Descrizione:** Cinghia flessibile trapezoidale, tipica delle trasmissioni meccaniche.  
**Funzione:** Collega la puleggia dei pedali a quella dell'alternatore, trasferendo il movimento senza contatto diretto.



### 8 Piedini

**Descrizione:** Vite metallica collegata a testa larga in gomma.  
**Funzione:** Permettono di regolare inclinazione e altezza. La testa in gomma ruvida aiuta a stabilizzare e rende meno scivoloso, quindi più stabile la struttura.

**Figura 39**  
Render dei singoli componenti





# Conclusione

Il generatore a pedali è nato con un obiettivo semplice: rendere visibile e far comprendere l'esistenza dell'energia grigia nel mondo digitale. Siamo abituati a vivere circondati dall'energia, consumandola con un gesto quasi automatico, senza pensare alla fatica necessaria per produrla. Pedalare per alimentare un computer rivela quanto sia elevato il costo reale di ciò che diamo per scontato.

Questo progetto non vuole proporre una soluzione alternativa di produzione energetica e non mira a creare un generatore meccanicamente perfetto, ma punta ad offrire un'esperienza: un modo per percepire fisicamente ciò che normalmente resta nascosto.

Ogni giro di pedale diventa un atto di consapevolezza, che collega lo sforzo umano al mondo digitale e ai suoi enormi consumi energetici, spesso ignorati.

In un'epoca in cui la transizione energetica è una necessità, comprendere il valore dell'energia è il primo passo verso un futuro più sostenibile. Il generatore diventa così un invito a rallentare, a riflettere e a ripensare le nostre abitudini, ricordandoci che dietro ogni clic, ogni dato e ogni comodità, c'è sempre un prezzo da pagare.



# Bibliografia

- Accent Design; <https://accentdesign.co.uk/case-studies/positive-internet/> (Accesso 16/07/2025)
  - AGI – Agenzia Giornalistica Italia. Cosa sono gli “schiavi energetici” ed esistono ancora? [https://www.agi.it/blog-italia/energia-e-sostenibilita/post/2017-12-16/cosa\\_sono\\_gli\\_schiavi\\_energetici\\_ed\\_esistono\\_ancora\\_-3280169/](https://www.agi.it/blog-italia/energia-e-sostenibilita/post/2017-12-16/cosa_sono_gli_schiavi_energetici_ed_esistono_ancora_-3280169/) (2017, accesso 6/06/2025)
  - Alter L. Corporate Knights. The energy of slaves. Corporate Knights, <https://www.corporateknights.com/perspectives/energy-slaves-too-expensive/> (2012, accesso 23/06/2025).
  - Amodeo M. Human energy. TheGreenSideOfPink, <https://www.thegreensideofpink.com/innovation/2024/human-energy/> (2024, accesso 23/05/2025).
  - Anadol R. BizBash. See How This Interactive Art Installation Made Data Look Cool. <https://www.bizbash.com/experiential-marketing/see-how-this-interactive-art-installation-made-data-look-cool?> (2021, accesso 20/07/2025)
  - Arnall T. Internet Machine; <https://www.elasticspace.com/2014/05/internet-machine> Accesso 06/05/2025
  
  - Bikeitalia. Efficienza di pedalata nel ciclismo. YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=OQo2lE7oDHs> (2020, accesso 26/05/2025).
  - Biersteker T. MB>CO<sub>2</sub>; <https://thijsbiersteker.com/mbco2> (Accesso 16/07/2025)
  - Boesel A. The green micro gym; <https://www.thegreenmicrogym.com/> (Accesso 05/05/2025)
  - Boscolo M. Il Bo Live. L'impatto ambientale dei data center. <https://ilbolive.unipd.it/it/news/scienza-ricerca/limpatto-ambientale-data-center> (2022, accesso 19/02/2025)
  - Botche101 Blog. Pedal Exerciser Generator. <https://botche101.blogspot.com/2012/10/pedal-exerciser-generator.html?> (Accesso 12/07/2025)
  - BranchPattern. GRESB. Understanding embodied and operational carbon in data centers. <https://www.gresb.com/nl-en/understanding-embodied-and-operational-carbon-in-data-centers-esg-considerations/> (2025, accesso 6/06/2025)
  
  - Climate action; <https://climateaction.tech/> (Accesso 03/06/2025)
  - Climate Action Accelerator. <https://climateactionaccelerator.org/solutions/web-browsers-and-search-engines/> (accesso 20/07/2025)
  - Colombo G. Manuale dell'igegnere. Motori animanti: dati sulla forza dell'uomo e del cavallo; Hoepli: Milano, Italia, 1985.
  - CPRAM. Data Center e boom dell'AI: la sfida dell'efficienza energetica e dell'accesso all'elettricità a basse emissioni <https://cpram.com/ita/it/privati/pubblicazioni/megatrends/data-center-e-boom-dell-ai-la-sfida-dell-efficienza-energetica> (2024, accesso 19/03/2025)
  
  - Darrel A. Waterlution. Pedal Power: Building a Bicycle-Powered Generator. <https://waterlution.org/pedal-power-building-a-bicycle-powered-generator/> (Accesso 12/07/2025).
  - De Decker K. Low tech magazine; <https://solar.lowtechmagazine.com/> Accesso 06/05/2025
  - DigitalFootprint. <https://digitalfootprint.earth/> (accesso 20/07/2025)
  - Digiconomist. Bitcoin Energy Consumption Index. <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption> (2025, accesso 5/06/2025).
-

- EcoTree. <https://ecotree.green/en/calculate-digital-co2> (accesso 20/07/2025)
  - Elika editrice. Efficienza della pedalata. <https://www.elika.it/blog/efficienza-della-pedalata.468.html> (Accesso eseguito il 19/02/2025)
  - Electric Pedals. Cyclerate. <https://www.electricpedals.com/project-pages>(accesso 17/04/2025)
  - Etica sgr. Consumo d'acqua, aumenta l'impatto dei data center. <https://www.eticasgr.com/storie/approfondimenti/consumo-d-acqua-impatto-data-center> (2024, accesso 2/03/2025)
  - European Commission. Green and digital: technical and policy options to limit surge in energy consumption for cloud and data centres. Commissione Europea, [https://commission.europa.eu/news-and-media/news/green-and-digital-study-shows-technical-and-policy-options-limit-surge-energy-consumption-cloud-and-2020-11-09\\_en](https://commission.europa.eu/news-and-media/news/green-and-digital-study-shows-technical-and-policy-options-limit-surge-energy-consumption-cloud-and-2020-11-09_en) (2020, accesso 23/02/2025).
  
  - Gabanelli M. Corriere della Sera Dataroom. Emissioni CO<sub>2</sub> nell'ambiente: quanto inquina la nostra vita digitale. <https://www.corriere.it/dataroom-milena-gabanelli/emissioni-co2-ambiente-internet-quanto-inquina-nostra-vita-digitale-effetto-serra-consumi-invisibili-streaming-app-video/eb680526-5363-11eb-b612-933264f5acaf-va.shtml>. (2021, accesso 6/07/2025).
  - Goldman Sachs Research. AI to drive 165% increase in data center power demand by 2030. Goldman Sachs, <https://www.goldmansachs.com/insights/articles/ai-to-drive-165-increase-in-data-center-power-demand-by-2030> (2025, accesso 19/03/2025).
  - Gregory J. PedalPC. How Much Electricity Can a Human Generate? <https://www.pedalpc.com/blog/how-much-electricity-can-human-generate/> (2022, accesso 23/05/2025).
  - Gregory J. PedalPc. How the PedalPC Works. <https://www.pedalpc.com/blog/how-the-pedalpc-works/> (2019, accesso 12/07/2025).
  
  - Iannella P. Nutrizione & Sport. Il rapporto potenza/peso nel ciclismo. <https://www.nutrizionista-sportivo.it/alimentazione-e-sport/il-rapporto-potenza-peso-nel-ciclismo.html> (2024, accesso 26/05/2025).
  - Il Tarlo; <https://www.iltarlo.eu/> (Accesso 05/05/2025)
  - International Energy Agency. Data Centres and Data Transmission Networks. IEA; <https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks> (2023, accesso 12/07/2025)
  
  - Jancovici JM. How much of a slave master am I? 2004. <https://jancovici.com/en/energy-transition/energy-and-us/how-much-of-a-slave-master-am-i/> (2004, accesso 08/07/2025)
  
  - LeMonde Studio. <https://lemondestudio.com/portfolio/lumina-2025/> (2025, accesso 21/08/2025)
  - Luce-Gas.it. Quanto consumano gli elettrodomestici? <https://luce-gas.it/guida/consumo/elettrodomestici#perche-scatta-il-contatore> (2025, accesso 20/08/2025)
  
  - Mathews A. PCBWay. How to Build a Bicycle Generator. PCBWay, [https://www.pcbway.com/projectsponsorHow\\_to\\_Build\\_a\\_Bicycle\\_Generator\\_f8a9868b.html](https://www.pcbway.com/projectsponsorHow_to_Build_a_Bicycle_Generator_f8a9868b.html) (2022, accesso 12/07/2025).
  - McMillen S. Energy Slaves. Comic by Stuart McMillen. <https://www.stuartmcmillen.com/comic/energy-slaves/> (2017, accesso 27/01/2025)
-

- McMillen S. Hidden in plain sight: our invisible slaves. <https://www.stuartmcmillen.com/blog/energy-slaves-reflections-1/> (2016, accesso 27/01/2025)
  - Mulino ad arte; <https://mulinoadarte.com/teatro-a-pedali/> (accesso 06/05/2025)
  - Murray. Electric Pedals; <https://www.electricpedals.com/eleanor-palmer> (Accesso 05/05/2025)
  - Nexamp. How Much Energy Does a Computer Use. <https://www.nexamp.com/blog/how-much-energy-does-a-computer-use> (2024, accesso 20/04/2025)
  - Nicoletti L, Ma M, Bass D. How AI Demand Is Draining Local Water Supplies. Bloomberg, <https://www.bloomberg.com/graphics/2025-ai-impacts-data-centers-water-data/> (2025, accesso 2/03/2025)
  - Nguyen A. <https://www.alexbdnguyen.com/wewatttree> (2024, accesso 21/08/2025)
  - Pedal Power; <https://www.pedalpower.green/> (accesso 05/05/2025)
  - Roux E. PcOutlet. How Much Electricity Does a PC Consume: Energy Usage Guide <https://pcoutlet.com/parts/power-supplies/how-much-electricity-does-a-pc-consume-energy-usage-guide> (2024, accesso 20/04/2025)
  - Rock the Bike. Interactive Pedal Powered Lighting Rigs. <https://rockthebike.com/examples-of-interactive-pedal-powered-lighting-rigs/> (accesso 20/07/2025)
  - ScienceDirect. Embodied energy. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/embodied-energy> (accesso 08/07/2025)
  - ScienceDirect. Embodied energy. Engineering Topics. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/embodied-energy> (accesso 6/07/2025).
  - Spencer T, Singh S. IEA. What the data centre and AI boom could mean for the energy sector. <https://www.iea.org/commentaries/what-the-data-centre-and-ai-boom-could-mean-for-the-energy-sector> (2024, accesso 23/02/2025).
  - Sunbird DCIM. What Is Data Center Energy Consumption? <https://www.sunbirddcim.com/glossary/data-center-energy-consumption> (accesso 12/07/2025)
  - SWI Swissinfo.ch. Bitcoin causes 98 million tonnes of CO2 per year. <https://www.swissinfo.ch/eng/various/bitcoin-causes-98-million-tonnes-of-co2-per-year/89439335> (2025, accesso 5/06/2025).
  - Sustainable Web Design. <https://sustainablewebdesign.org/estimating-digital-emissions/> (accesso 23/07/2025)
  - The green web foundation; <https://www.thegreenwebfoundation.org/> (accesso 03/06/2025)
  - The shift project; <https://theshiftproject.org/en/our-purpose/> (accesso 03/06/2025)
  - UNU. UN Study Reveals the Hidden Environmental Impacts of Bitcoin: Carbon is Not the Only Harmful By-product. <https://unu.edu/press-release/un-study-reveals-hidden-environmental-impacts-bitcoin-carbon-not-only-harmful-product> (2023, accesso 5/06/2025).
  - Web Site Carbon; <https://www.websitecarbon.com/> (accesso 03/06/2025)
  - Wheatley M. Environmentalists sound alarm over Virginia's data centers as water consumption skyrockets. SiliconAngle, <https://siliconangle.com/2024/08/19/environmentalists-sound-alarm-virginias-data-centers-water-consumption-skyrockets/> (2024, accesso 2/03/2025).
  - Wikipedia. Bitcoin. <https://en.wikipedia.org/wiki/Bitcoin> (accesso 5/06/2025).
  - Wikipedia. Data center. [https://en.wikipedia.org/wiki/Data\\_center](https://en.wikipedia.org/wiki/Data_center) (accesso 12/07/2025).
-

- Wikipedia. Energy slave. Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_slave](https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_slave) (2025, accesso 6/6/2025).
- Wikipedia. Human power. [https://en.wikipedia.org/wiki/Human\\_power](https://en.wikipedia.org/wiki/Human_power) (accesso 23/05/2025).
- Wilson D.G., Schmidt T., "Bicycling Science". Cambridge, MA: The MIT Press, 2020

# Fonti iconografiche

- **Figura 1** Rivisitazione tratta da: <https://www.corriere.it/dataroom-milena-gabanelli/emissioni-co2-ambiente-internet-quanto-inquina-nostra-vita-digitale-effetto-serra-consumi-invisibili-streaming-app-video/eb680526-5363-11eb-b612-933264f5acaf-va.shtml> Accesso eseguito il 08/01/2025
  - **Figura 2** Corriere della sera; <https://www.corriere.it/dataroom-milena-gabanelli/emissioni-co2-ambiente-internet-quanto-inquina-nostra-vita-digitale-effetto-serra-consumi-invisibili-streaming-app-video/eb680526-5363-11eb-b612-933264f5acaf-va.shtml> Accesso eseguito il 08/01/2025
  - **Figura 3** Grafico creato dall'autore. Fonte: <https://luce-gas.it/guida/consumo/elettrodomestici#perche-scatta-il-contatore> Accesso eseguito il 20/08/2025
  - **Figura 4** Stuart McMillen; <https://www.stuartmcmillen.com/it/comic/schiavi-energetici/> Accesso eseguito il 22/01/2025
  - **Figura 5** Aruba Business; <https://business.aruba.it/soluzioni-data-center/> Accesso eseguito il 22/01/2025
  - **Figura 6** Rivisitazione tratta da: Il Bo Live; <https://ilbolive.unipd.it/it/news/scienza-ricerca/limpatto-ambientale-data-center> Accesso eseguito il 19/02/2025
  - **Figura 7** Rivisitazione tratta da: Etica sgr; <https://www.eticasgr.com/storie/approfondimenti/consumo-d-acqua-impatto-data-center> Accesso eseguito il 19/02/2025
  - **Figura 8** Grafico creato dall'autore. Fonte: CPRAM; <https://cpram.com/ita/it/privati/publicazioni/megatrends/data-center-e-boom-dell-ai-la-sfida-dell-efficienza-energetica> Accesso eseguito il 19/02/2025
  - **Figura 9** Grafico creato dall'autore. Fonte: Etica sgr; <https://www.eticasgr.com/storie/approfondimenti/impatto-ambientale-del-bitcoin-criptovalute> Accesso eseguito il 09/03/2025
  - **Figura 10** Pedal Power; <https://www.pedalpower.green/> Accesso eseguito il 05/05/2025
  - **Figura 11** Electric Pedals; <https://www.electricpedals.com/eleanor-palmer> Accesso eseguito il 05/05/2025
  - **Figura 12** Il Tarlo; <https://www.iltarlo.eu/> Accesso eseguito il 05/05/2025
  - **Figura 13** The green micro gym; <https://www.thegreenmicrogym.com/> Accesso eseguito il 05/05/2025
  - **Figura 14** Mulino ad arte; <https://mulinoadarte.com/teatro-a-pedali/> Accesso eseguito il 06/05/2025
  - **Figura 15** Elastic Space. Internet Machine; <https://www.elasticspace.com/2014/05/internet-machine> Accesso eseguito il 06/05/2025
-

- **Figura 16** Bietersteker T. <https://thijsbiersteker.com/mbco2> Accesso eseguito il 04/06/2025
  - 
  - **Figura 17** Web Site Carbon; <https://www.websitecarbon.com/> Accesso eseguito il 03/06/2025
  - **Figura 18** Low tech magazine; <https://solar.lowtechmagazine.com/> Accesso eseguito il 06/05/2025
  - **Figura 19** The shift project; <https://theshiftproject.org/en/> Accesso eseguito il 03/06/2025
  - **Figura 20** The green web foundation; <https://www.thegreenwebfoundation.org/> Accesso eseguito il 03/06/2025
  - **Figura 21** Climate action; <https://climateaction.tech/> Accesso eseguito il 03/06/2025
  - **Figura 22** Accent design; <https://accentdesign.co.uk/case-studies/positive-internet/> Accesso eseguito il 15/07/2025
  - **Figura 23** Grafico tradotto e rivisitato dall'autore. Fonte: Wilson D.G., Schmidt T., "Bicycling Science". Cambridge, MA: The MIT Press, 2020
  - **Figura 24** Pcbway [https://www.pcbway.com/projectsponsorHow\\_to\\_Build\\_a\\_Bicycle\\_Generator\\_f8a9868b.html](https://www.pcbway.com/projectsponsorHow_to_Build_a_Bicycle_Generator_f8a9868b.html) Accesso 12/07/2025
  - **Figura 25** Pcbway [https://www.pcbway.com/projectsponsorHow\\_to\\_Build\\_a\\_Bicycle\\_Generator\\_f8a9868b.html](https://www.pcbway.com/projectsponsorHow_to_Build_a_Bicycle_Generator_f8a9868b.html) Accesso 12/07/2025
  - **Figura 26** Waterlution. <https://waterlution.org/pedal-power-building-a-bicycle-powered-generator/> Accesso 12/07/2025.
  - **Figura 27** Waterlution. <https://waterlution.org/pedal-power-building-a-bicycle-powered-generator/> Accesso 12/07/2025.
  - **Figura 28** PedalPc. <https://www.pedalpc.com/blog/how-the-pedalpc-works/> 2019, accesso 12/07/2025.
  - **Figura 29** PedalPc. <https://www.pedalpc.com/blog/how-the-pedalpc-works/> 2019, accesso 12/07/2025.
  - **Figura 30** Botche101 Blog. <https://botche101.blogspot.com/2012/10/pedal-exerciser-generator.html>? Accesso 12/07/2025
  - **Figura 31** Botche101 Blog. <https://botche101.blogspot.com/2012/10/pedal-exerciser-generator.html>? Accesso 12/07/2025
  - **Figura 32** Grafico creato dall'autore. Fonte: <https://pcoutlet.com/parts/power-supplies/how-much-electricity-does-a-pc-consume-energy-usage-guide> Accesso eseguito il 20/04/2025
-

- **Figura 33** Grafico realizzato dall'autore.
  - 
  - **Figura 34** Immagine render realizzata dall'autore partendo da modello 3d.
  - 
  - **Figura 35** Immagine render realizzata dall'autore partendo da modello 3d.
  - **Figura 36** Immagine render realizzata dall'autore partendo da modello 3d.
  - **Figura 37** Immagine render realizzata dall'autore partendo da modello 3d.
  - **Figura 38** Immagine render realizzata dall'autore partendo da modello 3d.
  - **Figura 39** Immagine render realizzata dall'autore partendo da modello 3d.
-

