



POLITECNICO DI MILANO

SCUOLA DEL DESIGN
L. M. DESIGN & ENGINEERING

APPLICAZIONE DI UN SISTEMA RIGENERATIVO DI FRENATURA PER BICICLETTE DA CITTÀ

Tesi di: Oscar Escobar
Relatore: Ing. Mario Guagliano

A. A. 2012/2013



POLITECNICO DI MILANO
SCUOLA DEL DESIGN

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
DESIGN & ENGINEERING

APPLICAZIONE DI UN SISTEMA RIGENERATIVO DI FRENATURA PER BICICLETTE DA CITTÀ

Tesi di: Oscar Escobar
Matricola 764816
Relatore: Ing. Mario Guagliano
Anno accademico 2012/2013

“Tutti siamo apprendisti in un mestiere dove nessuno si diventa mai un maestro”

Ernest Hemingway

Ringraziamenti

Questa opera appartiene a tutte le persone coinvolte in essa durante questa fase della mia vita da studente laureato all'estero.

È il risultato di implementare conoscenze che non saranno mai da me, è il tentativo di realizzare in un progetto tutto ciò che ho osservato e incorporato come una proposta nata dalla mia propria esperienza inoltre a un semplice apprendimento, ed è soltanto possibile grazie alla ammissione al Politecnico di Milano, insieme al suo supporto e sostegno economico agli miei studi, che mi hanno permesso di realizzare il mio sogno di conoscere l'Italia e rimanere per tre anni a Milano, città a cui ho conferito un grande affetto.

Voglio ringraziare al professore Mario Guagliano per orientare la mia tesi di laurea con la sua miglior disponibilità e profondo interesse, insieme agli altri docenti che ho conosciuto a da chi ho imparato studiando Design & Engineering.

Anche vorrei ringraziare a i miei compagni di studio del Politecnico, specialmente a Alessio Cecere e Simone Bosatelli, con cui ho svolto la maggior parte dei progetti, facendo spazio per me nelle loro case e condividendo le loro amicizie; dello stesso modo mi sento fortunato di aver conosciuto a Héctor Chavez, Santiago Villa e W. Javier Forero fuori dalla Colombia.

Tre anni fa ho lasciato il mio paese alla ricerca di opportunità accademiche e professionali diverse a quelle a cui potevo accedere come disegnatore industriale, appena laureato in Colombia. Non poteva essere di altro modo in quel tempo, guidato dalla ambizione e l'ingenuità da chi insegue una strada sconosciuta e piena di illusioni a una età relativamente corta, lasciando anche i ricordi, luoghi e amici senza di cui sarebbe impossibile pensare in tornare e con chi ho cercato di rimanere in contatto. Nonostante tutto, questa esperienza mi ha fatto veramente felice, ho vissuto in pace per un lungo periodo di tempo, senza mai avere partito, entusiasmato con la revitalizzazione del ciclismo professionale colombiano e per i movimenti civici e istituzionali che promuovono l'uso della bicicletta a Bogotá, protagonisti per un gruppo di ben conosciuti amici e ciclisti.

Tuttavia e nonostante la distanza, non avrei potuto vivere in Italia senza l'incondizionato supporto da mia famiglia, che dalla Colombia ha fatto tutto quanto per garantire il mio successo, tranquillità e benessere; senza il contributo di miei zie Rosalba e Julia Hernández o di Mario Rincón; da i miei più cari esseri a cui debbo tutto quello che ho potuto fare fin'ora: Carlos –mio fratello–, Orlando e Inés, miei genitori. Solo con il loro incrollabile sforzo questo risultato è stato possibile, dunque è una prodezza familiare; non sono rimasti i miei nonni, che lavoravano la terra e hanno vissuto con onestità pensando sempre in un futuro meglio, per testimoniare questo trionfo generazionale che mi ha permesso di arrivare fino qui. Non posso non onorare i miei antenati ne immaginare la gioia che avrebbe rappresentato per loro.

A tutti coloro che non ci sono più ma rimangono sempre con me dovunque mi trovo.

Agradecimientos

Este trabajo pertenece a todas las personas involucradas en el mismo durante esta etapa de vida como estudiante de posgrado en el extranjero.

Es el resultado de poner en práctica conocimientos que siempre serán ajenos, es el intento de materializar en un proyecto todo aquello que he observado y he incorporado como una propuesta nacida de mi propia experiencia más allá de un simple aprendizaje, y es sólo posible gracias a la admisión del Politécnico de Milán, junto a sus programas de sostenimiento y apoyo económico a mis estudios, que me permitieron realizar mi sueño de conocer Italia y permanecer por tres años en Milán, ciudad a la que he entregado gran parte de mi afecto.

Deseo agradecer al profesor Mario Guagliano por orientar mi trabajo de grado con su mejor disposición y profundo interés, junto a los demás docentes que conocí y de quienes aprendí estudiando Diseño e Ingeniería.

También a mis compañeros de estudio del Politécnico, especialmente a Alessio Cecere y Simone Bosatelli, con quienes compartí la mayoría de mis proyectos académicos, abriéndome espacio dentro de sus hogares y su grupo de amigos, al igual que me siento afortunado de haber conocido fuera del país a Héctor Chávez, Santiago Villa y W. Javier Forero.

Hace tres años dejé mi país en búsqueda de oportunidades académicas y profesionales diferentes a las que podía acceder como diseñador industrial, recién graduado en Colombia. No podía ser de otro modo entonces, impulsado por la ambición y la ingenuidad de quien persigue un camino desconocido lleno de ilusiones a una edad relativamente corta, dejando de paso recuerdos, lugares y amigos sin los sería imposible pensar en regresar y con quienes no dejé de tener contacto. A pesar de todo esta experiencia me hizo realmente feliz, viví en paz durante largo tiempo, sin haberme ido nunca, emocionado con la revitalización del ciclismo profesional colombiano y de los movimientos cívicos e insituacionales que promueven el uso de la bicicleta en Bogotá, protagonizados por un puñado de bien conocidos amigos y ciclistas.

Sin embargo y a pesar de la distancia, no habría podido vivir en Italia sin el incondicional apoyo de mi familia que desde Colombia hizo todo lo que estuvo a su alcance para garantizar mi éxito, tranquilidad y bienestar; sin la ayuda de mis tías Rosalba y Julia Hernández o de Mario Rincón; de mis seres más queridos y especiales a quienes debo todo lo que he podido hacer hasta ahora: Carlos -mi hermano-, Orlando e Inés, mis padres. Sólo gracias a ellos y su constante esfuerzo y sacrificio este logro ha sido posible, y es por tanto una hazaña familiar; no alcanzaron a estar mis abuelos, quienes trabajaron la tierra y vivieron con honestidad pensando en un mejor futuro, para testificar este triunfo generacional que me trajo hasta este punto. No puedo dejar de honrar a mis ancestros ni dejar de pensar en la alegría que esto hubiera podido representar para ellos.

A todos aquellos que ya no están y me siguen acompañando siempre sin importar en dónde me encuentre.

Indice dei contenuti

Riassunto

Abstract

Introduzione

Obiettivi

PARTE I - INFORMAZIONE PRECEDENTE

1. ALBERO DI TRASMISSIONE IN BICICLETTE

1. 1. Descrizione

1. 2. ¿Catena o albero?

1. 3. Componenti elementari

2. TRASMISSIONE AD ALBERO IN MERCATO

2. 1. Arcade Cycles

2. 2. Dynamic Shaft-Drive

2. 3. Fendt Kardanrad

2. 4. Worldscape Co. Ltd.

3. BICICLETTA A PEDALATTA ASSISTITA

3. 1. Classificazione

3. 1. 1. Pedelec

3. 1. 2. S-Pedelec

3. 1. 3. Pedelec con attuatore di potenza



- 3. 1. 4. Bicicletta elettrica senza assistenza diretta
- 3. 2. Normative
 - 3. 2. 1. Normativa Europea EN 15194
 - 3. 2. 1. 1. Scopo
 - 3. 2. 1. 2. Informazione successiva
 - 3. 2. 2. Cina
 - 3. 2. 3. Gran Bretagna
 - 3. 2. 4. Stati Uniti
- 3. 3. Riferimenti commerciali
 - 3. 3. 1. Aseako
 - 3. 3. 2. BionX International
 - 3. 3. 3. BMW iPedelec
 - 3. 3. 4. Bosch eBike Systems
 - 3. 3. 5. Clean Mobile
 - 3. 3. 6. Giant Hybrid
 - 3. 3. 7. Panasonic (Panaebike)
 - 3. 3. 8. Specialized (Turbo)
 - 3. 3. 9. Suzhou Bafang Electric Motor Science-Technology Co., LTD
 - 3. 3. 10. Yamaha PAS
- 4. SISTEMI DI CAMBIO DI MARCE
 - 4. 1. Variatori di velocità integrati al mozzo
 - 4. 1. 1. Fallbrook Technologies Inc.

- 4. 1. 2. Rohloff AG
- 4. 1. 3. Shimano, Inc.
- 4. 1. 4. SRAM
- 4. 1. 5. Sun Race Sturmey Archer
- 5. ENERGIA CINETICA E DIREZIONAMENTO DEL MOTO
 - 5. 1. Inversori di spinta in aerei
 - 5. 2. Motore Diesel con freno motore
 - 5. 3. Frenatura rigenerativa
 - 5. 3. 1. KERS
 - 5. 3. 2. Hydraulic Launch Assist.
 - 5. 3. 3. Biciclette
 - 5. 3. 3. 1. Regenerative Brake Launch Assist (RBLA)
 - 5. 3. 3. 2. Copenhagen Wheel
 - 5. 3. 3. 3. Mechanical KERS for bike



Indice delle immagini



PARTE I

1. Due coppie coniche.
2. Coppia conica normale
3. Coppia conica a spirale
4. Corona di coppia conica Zerol
5. Coppia ipoide
6. Sezione di una trasmissione ad albero
7. Bicicletta Columbia Mod. 59
8. Stazione di BikeMi (Piazza Diaz, Milano)
9. Bicicletta Arcade Cycles.
10. Sussex SDS
11. Movimento centrale Dynamic
12. Pubblicità di FENDT.
13. Worldscape Co. Ltd. Aitelen Chainless
14. SDTS di Worldscape
15. Pedelec in Germania
16. Riduttore Aseako
17. Motore Aseako
18. Motore elettrico BionX
19. Bicicletta iPedelec. iConcept di BMW

20. BMW iPedelec.
21. Kit eBike System da Bosch
22. Motore Clean Mobile
23. Audi eBike
24. Giant Twist Lite (Hybrid)
25. Trasmissione Panasonic
26. Specialized Turbo
27. Motore posteriore Specialized
28. Batteria della Turbo
29. 8Fun BPM
30. Kit Evolution
31. Kit Evolution
32. Motore Yamaha
33. Yamaha PAS Brace-L Special (2009)
34. Relazione tra gli 3 assi di movimento
35. Vista schematica del funzionamento del sistema NuVinci
36. Cambio di rapporto tra l'ingresso e l'uscita
37. Taglio in sezione di un mozzo NuVinci
38. SpeedHub 500/14 e trasmissione a catena Rohloff
39. Taglio in sezione del SpeedHub 500/14
40. Mozzo Shimano Nexus Inter-3 con freno a disco
41. Schermo per Alfine Di2

42. SRAM G8
43. Mozzo Sturmey-Archer AW
44. Sun Race Sturmey Archer SX3
45. Inversore di spinta aperto
46. Boeing 367-80 "Dash 80"
47. EADS/Airbus Military 400M Atlas
48. Interruttore di un freno motore Jacobs
49. KERS Flybrid sviluppato per F1
50. Modulo M-KERS di Torotrak in un banco di prova
51. Schema di funzionamento di un HLA installato su un camion per i rifiuti Peterbilt 320
52. Peterbilt 320, con trasmissione dotata di un HLA da Eaton
53. Ruota anteriore del sistema RBLA
54. Visualizzazione all'interno del RBLA
55. Concept della Copenhagen Wheel
56. Bicicletta e prototipo del KERS per biciclette
57. Esploso del volano e la sua struttura



CONTENUTO NON DISPONIBILE

Riassunto

In questo progetto si sviluppa una nuova idea di applicazione da una trasmissione ad albero per biciclette, dotata di un meccanismo di recupero in grado di sfruttare l'energia cinetica del moto della ruota posteriore.

Lo scopo principale dell'utilizzo di questa energia è la riduzione della velocità del veicolo ed eventualmente, essere usata anche come meccanismo di generazione elettrica ausiliaria di sistemi di illuminazione e sicurezza o di carica per batterie in biciclette a pedalata assistita.

In questo progetto confluiscono diverse soluzioni tecniche esistenti, che non sono però presentate insieme come un prodotto unico. In conseguenza il progetto si svolge dopo un'accurata ricerca di referenze, progetti e soluzioni che servono per dimostrare il suo contributo innovativo.

Parole chiave: [Albero](#). [Trasmissione](#). [Bicicletta](#). [Senza catena](#). [Recupero](#). [Energia cinetica](#). [Frenatura](#). [Ingranaggi conici](#).



Abstract

In this project is held a new design idea for a shaft-drive transmission for bicycles, equipped with a recovery mechanism capable of use the kinetic energy from the motion of the rear wheel.

The main aim for use this energy is help to slow down the vehicle speed, and eventually, be used also as an auxiliary generation mechanism of lightning and safety systems or as charging source for a battery in a electric bicycle.

In this project converge several existing technical solutions, but which are not lodged together as an individual product. In consequence the project is held after a deep research of references, projects and solutions that serve to demonstrate its innovative contribution.

Keywords: [shaft](#), [drive](#), [Transmission](#), [Bicycle](#), [Chainless](#), [Recovery](#), [Kinetic](#), [energy](#), [Mechanism](#), [Braking](#), [Bevel](#), [gear](#).



Introduzione

Da quando si sono fatte le prime sperimentazioni che permisero l'introduzione della bicicletta come veicolo affidabile e producibile, si sono anche presentati i sistemi di trasmissione con cui è possibile trasferire la forza applicata per il suo movimento, sia per migliorare il rapporto tra il utente e la macchina, le prestazioni del veicolo, la sua configurazione (distanza tra le ruote, misura del telaio, applicazione speciali), eccetera.

Storicamente la trasmissione a catena ha avuto un particolare successo, grazie in parte alla invenzione del *derailleur* nella prima metà del Novecento, eclissando altri sistemi che perciò la sua natura produttiva, peso, tecnologia o applicazione non erano paragonabili in quanto riguarda alla sua flessibilità di uso, capacità di manutenzione o costi in generale.

Tuttavia e più di cent'anni dopo, il protagonismo della trasmissione a catena si trova nuovamente in concorrenza con vari tipologie di trasmissione che offrono se non migliori prestazioni, approcci diversi in quanto riguarda ai limiti o svantaggi che la catena non può superare, nonostante la sua presenza massiva nel mezzo di trasporto più diffuso del mondo.

Con questo progetto si presenta una alternativa di trasmissione per biciclette, costituita essenzialmente da un'albero, a volte denominata in modo sbagliato come trasmissione a cardano. Approfittando le caratteristiche tecniche di questo meccanismo, si aggiunge un sistema di frenatura rigenerativa in grado di sfruttare l'energia cinetica del moto della ruota posteriore per fermare la bicicletta.

Pagina lasciata intenzionalmente in bianco

Obiettivi

Generale

Progettare una trasmissione ad albero per biciclette, dotata di un sistema di frenatura rigenerativa in grado di sfruttare l'energia cinetica del moto per diminuire a volontà la velocità del veicolo.

Specifici

_Definire i componenti basici della trasmissione (proprietà fisiche, materiali, tipologie di lavorazioni, assemblaggi, ecc.) presentati tramite disegni tecnici, illustrazioni, grafiche o rendering.

_Simulare il comportamento del materiale creato per fare le correzioni o verifiche opportuni, mostrando l'evoluzione del progetto dall'idea iniziale al risultato finale

_Produrre un modello virtuale che permetta visualizzare il comportamento della trasmissione, le sue caratteristiche o il suo rapporto con una bicicletta o il utente.





PARTE I - INFORMAZIONE PRECEDENTE

RIASSUNTO TEMATICO

1. ALBERO DI TRASMISSIONE IN BICICLETTE

I componenti che costituiscono una trasmissione ad albero

2. TRASMISSIONE AD ALBERO IN MERCATO

Esempi di fornitori di trasmissione ad albero

3. BICICLETTA A PEDALATA ASSISTITA

Definizione di ebike, normative, esempi commerciali.

4. SISTEMI DI CAMBIO DI MARCE

I meccanismi che permettono variare la velocità in una bicicletta munita di albero di trasmissione

5. ENERGIA CINETICA E TRASFORMAZIONE DEL MOTO

Esempi di usi alternativi del sistema motopropulsore o dell'energia cinetica in veicoli per diminuire la dipendenza dai freni meccanici.

1. ALBERO DI TRASMISSIONE IN BICICLETTE

1. 1. Descrizione

Presente in una proporzione bassa rispetto alla bene conosciuta catena, la trasmissione ad albero per biciclette[A] trasmette la forza applicata dalla pedalata dell'utente [1] di un modo simile a quelli presenti nelle autovetture[2], quindi si tratta di un organo di trasmissione rotativo collegato con coppie di ingranaggi perpendicolari o con un angolo di rapporto vicino ai 90° (ma non necessariamente si tratta di una semplice coppia conica).

Da quando si sono ideate le prime trasmissioni ad albero fino oggi, la loro struttura non ha cambiato molto: nel movimento centrale della bicicletta, al posto della guarnitura costituita da una o varie ruote dentate, si trova una corona che fa parte di una coppia conica (**img. 1**); l'altra parte della coppia, il pignone, è situato all'estremità anteriore dell'albero di trasmissione; nell'altra estremità dell'albero si ripete



Immagine 1. Due coppie coniche.

Quando esiste differenza di diametro/relazione, il disco maggiore riceve il nome di corona, il minore è un pignone.

questa configurazione, con un pignone situato al limite posteriore dell'albero, accoppiato a una corona dentata montata parallelamente al mozzo della ruota posteriore.

Come si è notato prima, non si tratta però di un albero di trasmissione installato con due coppie coniche perpendicolari né normali: dovuto al rapporto d'efficienza di trasmissione relativamente inferiore di questo sistema rispetto alla trasmissione a catena, il

a) Tipologia di trasmissione chainless oppure “senza catena”, categorizzata in inglese come *shaft-drive transmission*.

suo maggiore rumore, peso, e la maggiore complessità nella sua lavorazione, l'unico modo in cui un sistema di trasmissione del genere può avere giustificazione è appunto migliorando questi svantaggi o utilizzato quando, nonostante il rapporto di efficienza minore, la catena non abbia senso come soluzione migliore.

Con l'evoluzione storica dei metodi d'elaborazione d'ingranaggi, le diverse e molteplici applicazioni che ha avuto la 'coppia conica', molte delle debolezze tecniche si sono superati attraverso nuovi materiali, nuovi processi[3], ma soprattutto nuove forme che non possono classificarsi semplicemente come coppie coniche.

Le soluzioni includono coppie d'ingranaggi in cui il punto centrale degli tre assi vettoriali (x,y,z) è lo stesso punto di giro per tutte le parti della coppia e normalmente si denomina come coppia conica in italiano (*bevel gear* in lingua inglese); da questa esistono delle varianti come la coppia normale (*straight* **img. 1**), a spirale (*spiral bevel gear*: con la geometria dei denti angolata a modo di elica, **img. 3**) o Zerol (*Zerol bevel gear*: intermedia tra normale e elica, con denti curvati ma perpendicolari al



Immagine 2. Coppia conica normale.



Immagine 3. Coppia conica a spirale (dettaglio).



Immagine 4. Corona di coppia conica Zerol
Ingrandimento che mostra i denti curvi.

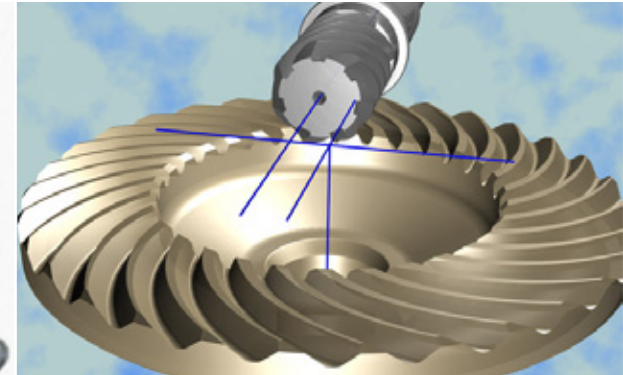


Immagine 5. Coppia ipoide (schema).
L'asse del pignone è parallelo ma spostato dal punto 0 (Distanza E).

centro del pignone, **img. 4**); ci sono anche altri esempi che partono o condividono caratteristiche di questi tre, che per la sua complessità o particolarità però non saranno considerate come tema d'interesse (come la coppia a bielica brevata per Citroën nel 1900, ispirazione



per il logo della casa automobilistica francese [4]); una variante che esce dalla definizione geometrica della coppia conica è quella ipoide (*hypoid bevel gear*) simile a una coppia conica a spirale ma con uno degli assi dei componenti spostato in parallelo al centro vettoriale (e compatibile con ingranaggi a vite senza fine) conosciuta come la distanza (variabile) E (img. 5.) [5]. Ogni una di questa sottoclasse di coppie d'ingranaggi perpendicolari ha dei vantaggi e svantaggi (produttivi o funzionanti).

1. 2. ¿Catena o albero?

Indubbiamente la trasmissione ad albero sarà, almeno per adesso, un'alternativa alla trasmissione a catena invece di una soluzione di concorrenza diretta. Il successo storico della catena di trasmissione può essere diviso in quattro vantaggi difficilmente superabili per altri sistemi: produttivamente è più economica, è meno complessa, il rapporto peso/volume è anche basso e il rapporto di efficienza di una trasmissione a catena ha cifre insuperabili fino al 98% [6]. Risulta ovvio che la enorme offerta di trasmissioni a catena implica anche una ampia caratterizzazione di prodotto, categorie e

gamme, che possono arrivare a costi elevati di materiale o elaborazione che si traducono in un prezzo di vendita alto; ma nelle soluzioni dove le alte prestazioni non sono elementi restrittivi, la catena non ha paragone. La trasmissione a catena vince perciò può essere elaborata a prezzi molto bassi ed essere costituita in materiali molto semplici, e comunque avere un peso totale relativamente basso con 'perdite' di trasmissione che in casi ideali è quasi nulla.

Si esiste una cultura d'uso di trasmissione a catena con più di cent'anni fino a questo momento, è dovuto a che è un sistema che funziona bene oppure ha una flessibilità progettuale molto alta: l'elemento con più restrizioni di modificazione progettuale, la catena stessa, è il componente più economico di qualsiasi trasmissione e infatti il suo prezzo ha deboli variazioni senza riguardo della gamma; ad esempio il prezzo massimo per sostituire una catena è di circa 50€ per un gruppo trasmissione di 2500€.

Quindi la progettazione di una trasmissione diversa alla catena soltanto è (logicamente) giustificabile se lo

scopo del progetto non è superare i punti di forza della catena o ha un altro scopo d'utilizzo.

L'avvenimento della trasmissione ad albero per biciclette in recente è dovuto alla fattibilità di integrare ingranaggi di alta durabilità, precisione e resistenza al meccanismo di trasmissione, approfittando i vantaggi che le seguenti caratteristiche offrono al pubblico generale: bassa manutenzione e affidabilità –minore vulnerabilità alle condizioni che affettano normalmente alla catena di trasmissione, il clima incluso–. Non è casuale che molte delle città dove si offre un servizio di bicicletta di uso pubblico –introdotti da anni recenti– abbiano delle biciclette dotate di trasmissione ad albero [B]; questo succede anche per un motivo di sicurezza e redditività: con il organo di trasmissione nascosto e con un meccanismo diverso al abituale, si evitano danneggiamenti, furti o l'intervento dagli utenti o di personale non qualificato [7].

L'albero si presenta come una alternativa che non è essente di manutenzione, ma con tempi tra sistemazioni molto più lunghi; considerando anche che non è

necessariamente progettata come una trasmissione di alte prestazione o di competizione, l'albero risulta attraente per gli utenti che non vogliono sporcarsi con il grasso, non hanno tempo o disposizione per pulire o lubrificare la catena, non sanno sostituirla o non lo fanno frequentemente. La manutenzione della catena o la sua sostituzione periodica è importante per il rendimento e la durata di tutto il sistema di trasmissione e persino gli ciclisti regolari o sperimentati dimenticano di farlo, accelerando l'usura dei denti dei pignoni (gli elementi “costosi” della trasmissione) [8].

1. 3. Componenti elementari

A continuazione (img. 6) si mostra la composizione di una trasmissione ad albero tipica per biciclette. C'è da segnalarsi che si tratta di parti costitutive elementari, in modo schematico, che possono avere delle variazioni dipendendo della tecnologia utilizzata o della particolarità conferita per i produttori o dei diversi approcci di progettazione.

b) Ad esempio BikeMi della ATM e il Comune di Milano)

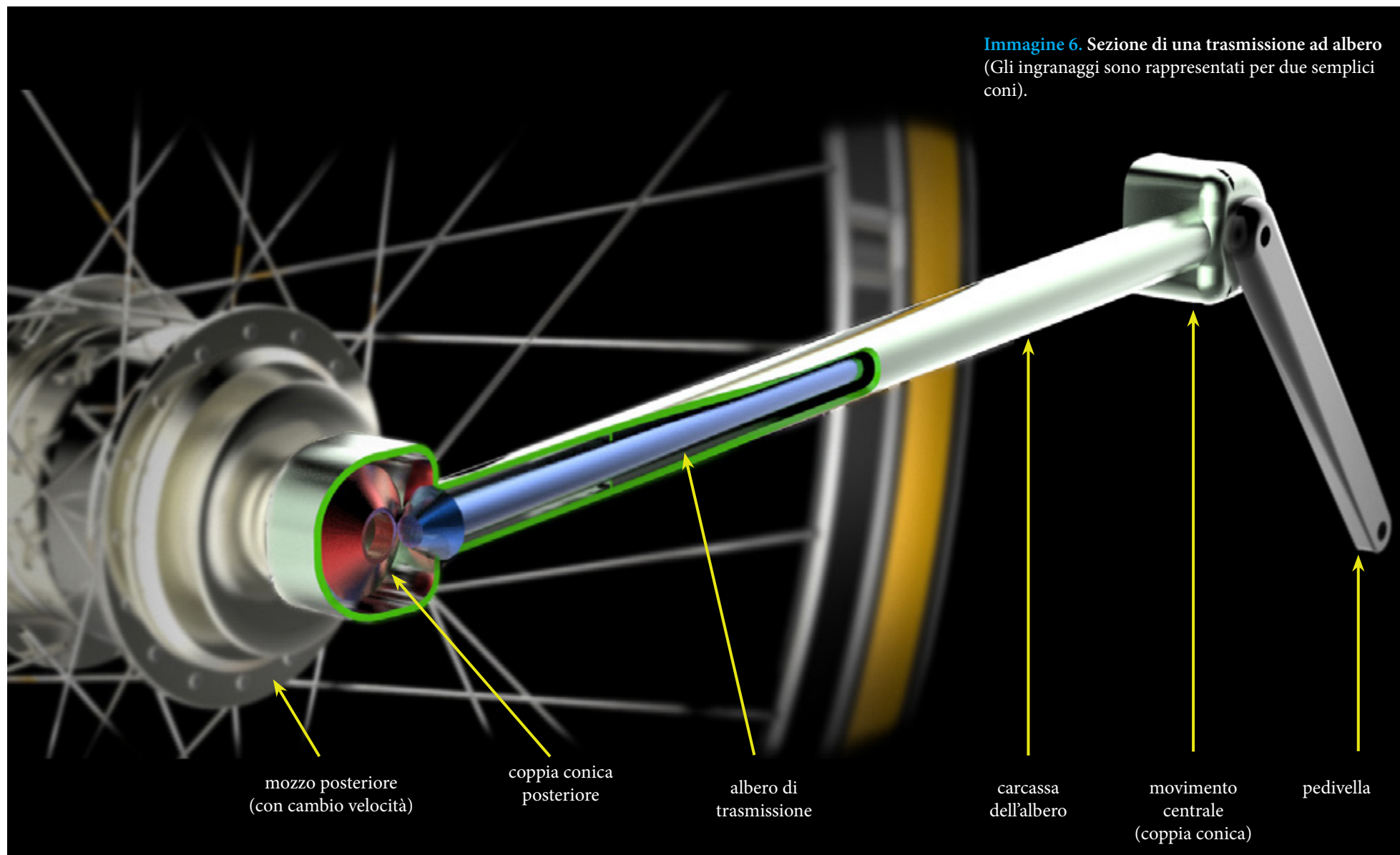


Immagine 6. Sezione di una trasmissione ad albero (Gli ingranaggi sono rappresentati per due semplici coni).



Immagine 7. Bicicletta Columbia Mod. 59.

“A metà degli anni 1890’s si sono vendute oltre un milione di biciclette negli Stati Uniti. Columbia, sussidiaria di Pope Manufacturing Company –uno dei più grandi fabbricanti di biciclette degli Stati Uniti in quel tempo– facesse biciclette di alta qualità a Hartford, Connecticut. Pope acquistò tutti i brevetti da altre aziende che le permetteste di fare una trasmissione ad albero con coppia conica regolabile, credendo che era una soluzione superiore alla catena e modificò le sue biciclette incorporando caratteristiche migliori dagli altre. Da 1898 fino 1920 circa, Columbia fu conosciuta per la sua linea di biciclette senza catena. Questa bicicletta, il Modello 59 costruito in 1899, aveva un prezzo di vendita pubblico di \$75 dollari statunitensi dell’epoca” [9].

2. TRASMISSIONE AD ALBERO IN MERCATO

In ordine alfabetico, si spiegano alcuni sistemi di trasmissione ad albero per biciclette già presenti sul mercato. Probabilmente esistono altri marche, oppure esistono come una parte costitutiva nei concept bikes, ma comunque i seguenti sono gli esempi che si trovano in commercio e hanno più informazione tecnica reale e disponibile.

2. 1. Arcade Cycles

Azienda produttrice francese di biciclette, Arcade Cycles probabilmente è un fornitore poco conosciuto, ma noto per i loro prodotti: biciclette di uso pubblico con trasmissione ad albero. L'esempio più vicino all'Italia sono appunto le biciclette di BikeMi [C] (**img. 8**). D'accordo al loro sito web, altre città (francesi) dove si trovano biciclette pubbliche con trasmissione ad albero di Arcade Cycles ci sono: Avignon, Bordeaux, Montpellier, Saint-Étienne e Valence [12].



Immagine 8. Stazione di BikeMi (Piazza Diaz, Milano). Fabbricata da Arcade Cycles, con albero di trasmissione.

c) Un servizio di bike sharing avviato nel 2008 per il Comune di Milano, operato da Clear Channel Communications [10] e la Azienda di Trasporto Milanese ATM, con più di 3,500 biciclette e 200 stazioni a dicembre 2012 [11].



Immagine 9. Bicicletta Arcade Cycles.

Modello Backstreet 7.28, 2013

Nonostante la sua grande produzione di biciclette pubbliche e anche di uso personale dotate di trasmissione ad albero, non esiste informazione tecnica dettagliata che permettesse di capire la sua struttura funzionante o la sua componentistica. La trasmissione

si è posizionata in modo tale che la sua parte esterna è anche un componente strutturale che sostituisce un tubo posteriore orizzontale (da i due foderi bassi del telaio) (img. 9) [13].

La trasmissione è compatibile con un sistema di variazione di velocità integrato al mozzo marca Shimano, della gamma Nexus, con sua contraparte anteriore che ha la funzione di mozzo-dinamo. Significa che queste biciclette hanno almeno 3 velocità malgrado la mancanza di deragliatore: un elemento associato da sempre con la possibilità di cambiare le marce.

2. 2. Dynamic Bicycles - Sussex Enterprises

È un marchio registrato con sede a Bristol (Rhode Island) [14] specializzato in produzione e commercializzazione di biciclette con trasmissione ad albero. Usano la trasmissione più diffusa in anni recenti, prodotta dalla casa taiwanese Sussex Enterprises da 1991 (oggi di proprietà di Dynamic Bicycles) offerta inizialmente come un kit per sostituire la trasmissione a catena di una “bicicletta normale”, con lunghezze configurabili a richiesta per essere aggiunta a vari misure di telai come Mountain Bike e tipo cruiser con ruote 26”, bici città con ruote 700C e pieghevoli di 20”.

La trasmissione ad albero SDS [15] (*Shaft Drive System*) di Sussex è progettata per essere compatibile con mozzi Shimano Nexus e Alfine di 7 a 8 velocità, con un meccanismo di coppia conica a spirale brevettato. Le biciclette in cui si è installata presentano un pezzo aggiunto ai forcellini posteriori in modo tale che la trasmissione non si tocca né interferisce con il foderò basso, e la modifica comprende anche lo spostamento del asse del movimento centrale a una posizione più in basso per evitare l’interferenza tra il meccanismo aggiunto e il foderò basso destro (**img. 10**); anche



Immagine 10. Sussex SDS.

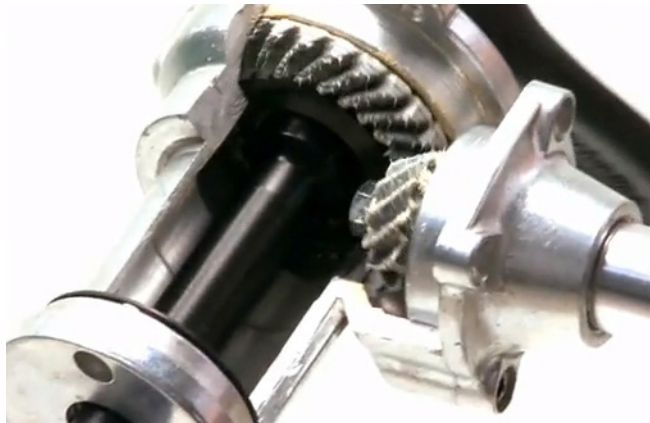


Immagine 11. Movimento centrale Dynamic.
Coppia conica a spirale.

hanno presentato alcune scarse biciclette Sussex dove la trasmissione sostituisce il posto del fodero basso [16].

Parte della strategia di commercializzazione di Dynamic Bicycles è dimostrare tramite internet il funzionamento della loro trasmissione, la sua manutenzione, o l'interazione in generale con il uso della bicicletta [17].

Tuttavia però, informazione rilevante come il rapporto di efficienza di questo sistema rispetto a una trasmissione a catena non sembra del tutto credibile (per non dire esagerato) [18][19] e la durata dei pezzi o la loro

manutenzione non sono pienamente chiariti: dovuto all'attenzione che riceve la catena in termini tecnici, alcuni fornitori di catene hanno informazione della durata approssimata in chilometri, il tempo o condizioni che suggeriscono un ricambio sia per prolungamento, danneggiamento o uso frequente [20]. Per questo motivo è probabile che la loro trasmissione sia molto durevole, non abbia bisogno di ricambi o di attente lubrificazioni periodiche, ma non può confrontarsi in cifre precise o dettagli più accurati rispetto a una trasmissione a catena o a qualunque sistema *chainless*.

2. 3. Fendt Kardanräd

Sono state biciclette fabbricate in Germania, dall'inizio degli anni 1980. Fu un'intento di riavviare la produzione tedesca di biciclette con albero di trasmissione, che erano frequenti in quel paese prima della Seconda Guerra Mondiale; è notevole che prima di Fendt e d'accordo a la loro storia [21], le biciclette ad albero si abbiano dimenticate per quasi quattro decenni. Dovuto alla sua scarsa produzione sono oggi biciclette da collezionisti.



Immagine 12. Pubblicità di FENDT.

L'azienda era condotta dagli imprenditori Peter Fendt e Klaus Hofgärtner, che pensarono di proteggere con un brevetto il suo sistema di coppie coniche usato nelle loro biciclette, ma avete scoperto che c'erano già brevetti molto simile da 1900 [22]. Dopo una sbagliata considerazione del prezzo di vendita al pubblico (20% più basso rispetto al prezzo corretto o consigliabile) e problemi con la qualità del primo modello (Feho STS 1-26, presentato a dicembre de 1981), le biciclette non si sono vendute bene ne sembravano affidabili, costringendo a Hofgärtner a lasciare la co-direzione dell'azienda in 1982. Nell'anno successivo Fendt, con la contribuzione dil ex-corridore di motociclette Preisinger Obendorf e l'ingegnere Muck aus Kempten, presentò un modello migliorato chiamato FENDT Cardano Confort. Dal 1983 Patria-WKC, una azienda tedesca con abbastanza tradizione, assunse la fabbricazione [21].

La bicicletta si offriva con un variatore di velocità integrato al mozzo marca Sachs di tre velocità –prevalentemente– e si sono prodotte circa 400 esemplari, con sospensione posteriore regolabile, fino alla fine della decada. In 1995 si sono realizzate cinque modelli speciale per Pedersen

(Danimarca).

2. 4. Worldscape Co. Ltd.

Trasmissione taiwanese con sistema di coppia conica a spirale brevettato, commercializzato come *SDTS (Shaft Drive Transmission System)*, da 1993 [23]. L'informazione di questa trasmissione è davvero scarsa, sebbene si ebbe menzionata insieme alla bicicletta dove si è montata nel libro *Cyclepedia* di Michael Embacher come parte della sua collezione personale di biciclette iconiche (img. 13 e 14) [24]. Il racconto dell'autore è un'analisi in cui si distinguono le buone prestazioni della trasmissione (precisa, silenziosa, piacevole di essere usata) in contrasto con quelle della bicicletta Aitelen Chainless, dotata di un variatore di velocità integrato al mozzo marca Sachs Torpedo di 5 velocità e realizzata nel 1997.



Immagine 13. Worldscape Co. Ltd. Aitelen Chainless



Immagine 14. SDTS di Worldscape



3. BICICLETTA A PEDALATA ASSISTITA

Soggetto di troppe confusioni per adesso, la “**bicicletta a pedalata assistita**” è una bicicletta che di solito viene chiamata “bici elettrica”. Dello stesso modo che la trasmissione ad albero, l’idea di spingere una bicicletta con motore risale da più di cent’anni [25] e infatti aggiungere un motore a una bicicletta è quello che determinò l’invenzione della motocicletta (così è nata in 1903, ad esempio, Harley-Davidson [26]).

Per molti motivi l’evoluzione della bicicletta è diversa a quella della motocicletta: tutt’oggi è difficile immagazzinare l’energia elettrica in batterie per l’alimentazione di un motore risparmiando peso o costi; il vantaggio della motocicletta è che il suo motore a combustione interna permette maggiori potenze (quindi il peso del veicolo non è un problema vincolante, il motore può essere molto compatto rispetto alla sua erogazione di potenza) e maggiore autonomia con un serbatoio pieno di carburante. Invece, le caratteristiche primitive dei motori elettrici o della loro alimentazione

resero impossibile soluzioni leggere, poco voluminose, con grande autonomia, sicure o facili di operare e mantenere che avrebbero permesso uno sviluppo meno recenti di biciclette fornite con motori elettrici per arrivare alla “pedalata assistita”.

Ci sono delle variazioni al termine bicicletta a pedalata assistita, dipendendo dalle classificazioni, etimologia, omologazione alla normativa di transito di un paese/regione, l’uso comune o in altre lingue, come il generalizzato termine **e-bike** (da *electric bike*) abbastanza comune in inglese.

3. 1. Classificazione

A causa della sua recente crescita, la classifica delle e-bike è ancora poco formale dovuto alle diverse regole di transito in ogni paese del mondo e le distinte normative applicabili [27]: non può classificarsi come



Immagine 15. Pedelec in Germania.

una bicicletta unicamente, non è una motocicletta e persino ci sono già dei problemi con la classifica-regolarizzazione dei moped con cui a volte –non per sbagliata considerazione ma di redazione delle regole esistenti– si confondono [28]. Ovviamente una bicicletta modificata per incorporare un motore elettrico continua assimilandosi come una bicicletta in un senso logico, ma i cambiamenti di prestazioni che rappresenta (velocità quindi sicurezza) fa che le normative non sempre possano applicarsi della stessa forma che per una bicicletta comune e così si spiega la addirittura complicata differenza di nomi che ogni autorità le conferisce a questo

tipo di veicolo in un intento da definirlo. Una differenza tra una e-bike e un moped (*motor-pedal* [29]) con cui si può confondere, è che i moped sono motociclette di bassa potenza, inventate con motori a combustione interna; un esempio di moped è una bicicletta normale con un kit di conversione che permette incorporare un motore compatto oppure una motocicletta molto leggera, nessuno dei due con cilindrata maggiore a 49 cc e con

limite di bassa velocità (di 45 km/h in Italia).

Le biciclette elettriche oppure **e-bike** si possono differenziare (non ancora classificare) in due gruppi principali: a pedalata assistita (da *pedal-assisted*, nome con cui si classificano in Italia) e con attuatore di potenza (*power-on-demand* [30]).

La bicicletta elettrica a pedalata assistita è un veicolo in cui il movimento del motore viene regolato dalla pedalata (conosciuto come **pedelec**) aumentando lo sforzo fatto dall'utente mentre pedala, di solito fornito



da sensori che misurano la cadenza della pedalata, sua forza o velocità. Anche la frenata può essere sensata in ordine di spegnere il motore mentre si ferma la bicicletta.

La e-bike con attuatore di potenza si differenzia per l'incorporazione di un controllo di impugnatura (simile all'acceleratore di una motocicletta) che permette controllare il motore indipendentemente della pedalata del ciclista.

D'altronde ci sono anche le diverse configurazioni che miscelano queste due, quindi ci sono:

3. 1. 1. Pedelec

E-bike a pedalata assistita unicamente (pedelec). Questa bicicletta è base con un motore di relativa poca potenza, con un sistema che limita la velocità in discesa ma non la velocità massima raggiungibile. Per norma si è considerata una e-bike come pedelec quando

1. la assistenza di pedalata, ad es. con motore elettrico che soltanto entra in funzione mentre si pedala, si

spenge dopo raggiungere 25km/h e

2. il motore produce la sua massima potenza continua nominale non superiore a 250 watt (il motore può produrre più potenza per periodi piccoli, come ad esempio quando il ciclista sta facendo un grande sforzo per salire in una pendenza) [31].

Così una bicicletta elettrica è classificata come pedelec e legalmente riconosciuta come una bicicletta sotto la Norma EN 15194 [31] (vedete dopo).

3. 1. 2. S-Pedelec

Prende il nome come riduzione di *Schnell-Pedelec* oppure "Pedelec Veloce" in tedesco, un tipo di bicicletta creata in Germania che va oltre la definizione di Pedelec. Le loro motori superano i 250 W e presentano meno (o nessuna delle) limitazioni della pedalata assistita (come ad esempio, il motore non si spegne dopo raggiungere i 25 km/h) [32].

Le S-Pedelec sono classificate più come mopeds che come biciclette, dovuto a che non sono conformi alla norma EN 15194, quindi non sempre possono guidarsi

senza registro (targa) e assicurazione, prevedono una minima patente di guida e l'uso obbligatorio del casco.

3. 1. 3. Pedelec con attuatore di potenza

Sono biciclette a pedalata assistita munite con attuatori, quindi sono fornite di motori che aumentano lo sforzo della pedalata e anche sono controllabili con un reostato (a modo di acceleratore di impugnatura) installato sullo sterzo.

3. 1. 4. Bicicletta elettrica senza assistenza diretta

In contrasto alla Pedelec (3.1.1.) e menzionata previamente come *power-on-demand*, non ha nessuna assistenza alla pedalata e il motore si controlla tramite un dispositivo a reostato. Per la sua natura funzionale, sono munite di solito con motori più potenti che le Pedelec, cioè non sempre condividono la stessa legislazione di circolazione. Con queste biciclette il ciclista può (come

si specifica in un manuale d'uso di una ebike EBikeIt E90 [33]):

1. pedalare normalmente (senza assistenza)
2. muovere la bicicletta senza bisogno di pedalare, usando il comando/attuatore
3. muoversi usando la bicicletta con entrambi modi.

3. 2. Normative

La **Direttiva 2002/24/EC** della Unione Europea esenta veicoli con la seguente definizione della omologazione approvata:

“Cycles with pedal assistance which are equipped with an auxiliary electric motor having a maximum continuous rated power of 0.25 kW, of which the output is progressively reduced and finally cut off as the vehicle reaches a speed of 25 km/h or if the cyclist stops pedaling.” [34]

ovvero:

“Biciclette con pedalata assistita che sono fornite con un

34. **Ente Nazionale Italiano Di Unificazione UNI.** Norma *CEN EN 15194:2009 + A1:2011* [Contenuto in linea]: *Cycles - Electrically power assisted cycles - EPAC Bicycles*. Estratto da http://store.uni.com/magento-1.4.0.1/index.php/norme/root-categorie-ics/43/43-150/en-15194-2009-a1-2011.html?josso_back_to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso_cmd=login_optional&josso_partnerapp_host=store.uni.com [Consultato il 12 Giugno 2013]. (Lingua inglese).



motore elettrico ausiliare con una potenza nominale continua massima di 0.25 kW, con una erogazione di potenza che progressivamente diminuisce e finalmente è interrotta quando il veicolo raggiunge 25km/h o il ciclista smesse di pedalare”.

Così si è definita la bicicletta a pedalata assistita e ogni paese membro della Unione Europea è libero della sua implementazione in concordanza con la legislazione nazionale.

Da 2009 si è approvata e annunciata la **Norma Europea EN 15194** dal Comitato Europeo di Normazione (CEN), che comprende i requisiti di sicurezza delle EPAC (acronimo di *Electric Pedal-Assisted Cycles* o “Ciclette a Pedale Assistite Elettricamente”), un intento per regolarizzare ed standardizzare le così dette biciclette a pedalata assistita in tutti gli paesi membri dal CEN e in risposta alla definizione della **Direttiva 2002/24/EC**, a causa della recente crescita di questo mercato e le preoccupazioni per la qualità o la sollecitazione dei componenti che non sono presenti in biciclette senza motore. La Norma anche definisce le EPAC come “pedelec” –in menzione a un veicolo introdotto da

Yamaha nel 1998– che significa *pedal electric cycle* [35]. Come altre norme dalla CEN, sono focalizzate su l’uso e sicurezza, ma non direttamente nella progettazione o le regole per i fornitori: il comportamento della bicicletta o le sue parti devono soddisfare le valutazione contenute nella norma, è una verifica più che un condizionante della progettazione

3. 2. 1. Normativa Europea EN 15194

3. 2. 1. 1. Scopo

Versione originale:

“This European Standard is intended to cover electrically power assisted cycles of a type which have a maximum continuous rated power of 0,25 kW, of which the output is progressively reduced and finally cut off as the vehicle reaches a speed of 25 km/h, or sooner, if the cyclist stops pedalling.

This European Standard specifies safety requirements and test methods for the assessment of the design and assembly of electrically power assisted bicycles and sub-assemblies for systems using battery voltage up to 48 VDC or integrated a battery charger with a 230 V input.

This European Standard specifies requirements and

test methods for engine power management systems, electrical circuits including the charging system for the assessment of the design and assembly of electrically power assisted cycles and sub-assemblies for systems having a voltage up to and including 48 VDC or integrated a battery charger with a 230 V input.” [34]

ovvero:

“La presente Norma Europea è destinata a coprire le cicli con assistenza motrice elettrica del tipo che hanno una potenza nominale continua massima di 0,25 kW, che trasmessa è progressivamente ridotta e finalmente spenta quando il veicolo raggiunge la velocità di 25 km/h, o prima, si il ciclista ferma di pedalare.

Questa Norma Europea specifica i requisiti di sicurezza e metodi di prova per la valutazione della progettazione e assemblaggio di biciclette assistite da motori elettrici e sub-assiemi per i sistemi usando un voltaggio di batteria fino a 48 VDC o con caricatore di batteria integrato con ingresso di 230V.

Questa Norma Europea specifica i requisiti e metodi di prova per sistemi di gestione della potenza motore, circuiti elettrici che includono il sistema di carica per la valutazione della progettazione e assemblaggio di cicli assistiti elettricamente e sub-assiemi di sistemi che funzionano con un voltaggio fino a e includono 48VDC o un carica batteria integrato con ingresso 230V”.

3. 2. 1. 2. Informazione successiva

La norma prende anche in considerazione altre Normative CEN, in particolare la Norma EN 14764 che specifica le caratteristiche di progettazione e sicurezza di bici città e trekking; le altre si riferiscono alle diverse precauzioni, limitazioni e requisiti dei motori elettrici in ordine di garantire il loro rapporto con le biciclette elettriche che condividono le stesse regole di progettazione, distribuzione, uso, ecc. Significa che una bicicletta elettrica non fatta in concordanza con questa norma deve soddisfare requisiti di altre normative o certificarsi di un modo diverso.

Dovuto alla dettagliata informazione della Norma EN 15194 e il suo riferimento alla EN 14764, ha avuto successo come un standard applicabile in molti paesi oltre alla Unione Europea ma partecipanti del CEN come Israel o Australia, non soltanto come regola di valutazione di sicurezza ma anche come base di nuove regole di circolazione oppure le modifiche necessarie per avviare l'inclusione delle pedelec come veicoli legalmente consentiti [36]. Anche, significa che molti fornitori cercano di creare biciclette che soddisfanno



questo standard e così, i loro prodotti possono essere venduti in Europa o portare le caratteristiche di progettazione basate in questa regola in altri posti dove ha omologazioni o modificazioni (ad. es. una bicicletta progettata negli Stati Uniti commercializzata al interno del paese o in Germania, una bicicletta di marca cinese venduta in Europa, o una bicicletta di origine spagnolo esportata alla Argentina).

Norvegia, membro dello Spazio Economico Europeo, ha implementato la Direttiva 2002/24/EC (applicabile anche in tutto il SEE) come parte della sua legislazione che prende la Norma EN 15194 come approfondimento tecnico.

3. 2. 2. Cina [37]

La Repubblica Popolare Cinese è il paese con maggiore quantità di biciclette elettriche in uso e produzione nel mondo. A differenza delle regolazione europei, biciclette con una velocità inferiore a 20 km/h e senza pedalata sono riconosciuti come veicoli senza operazione meccanica. Dovuto a problemi di sicurezza, sostegno

ambientale e danneggiamento dell'immagine cittadina, l'uso di biciclette elettriche si è vietato in zone specifiche delle principali città cinesi dal 2002; nel 2006 Beijing ha rimosso alcuni dei vieti.

D'altra parte in Hong Kong sono state vietate tutte le biciclette elettriche. Non direttamente, ma si prevede il uso di patente per motocicli e tricicli motorizzati; la legge non consente l'uso di nessun monopattino o biciclette muniti di motori elettrici dovuto a che nessuna tipologia di quelli esistenti nel mercato di Hong Kong soddisfacciano le regole di sicurezza stabilite dal governo locale.

3. 2. 3. Gran Bretagna

Il Dipartimento di Trasporto di Gran Bretagna rilasciò il documento "*Electrically Assisted Pedal Cycle Regulations 1983 (SI 1983/1168)*" [38] per stabilire le caratteristiche delle biciclette elettriche, in Ottobre 2005 (non è una legge in vigore). Si prevede che il motore abbia una potenza media limitata a 200W e peso massimo di 40 kg (250W per tricicli e tandems, peso

max. di 60 kg) e una velocità massima di 15 miglia (24 km/h). Biciclette adatte a questi parametri sono veicoli che non richiedono targa, patente, assicurazione, né certificazione di stato meccanico, con un'età minima per gli utenti di 14 anni.

Dopo l'assunzione della **Direttiva Europea EU 2002/24/EC** nel 2006 dentro del Statutory Instrument 2935, veicoli che sono fuori della normativa devono avere un consentimento (certificato) di utilizzo. Significa che biciclette con motori tra 200 e 250 W non sono consentite. Tuttavia non ci sono casi noti di applicazione del requisito dovuto probabilmente a che la certificazione veicolare si conferisce la prima volta che il veicolo entra a circolare in autostrade.

3. 2. 4. Stati Uniti

La NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration* o "Amministrazione di Sicurezza del Traffico Stradale Nazionale") afferma che biciclette e tricicli che rispondono alla definizione di *low-speed electric bicycles* saranno considerati come prodotti

di consumo regolati dalla Consumer Product Safety Commission (CPSC) dello stesso modo che biciclette semplici e non sono considerate come veicoli motorizzati seguendo le normative dal Dipartimento del Trasporto e la NHTSA [39].

Questa legislazione adottata dal Congresso Statunitense (15 U.S.C. 2085(b)) definisce la categoria di biciclette azionate da motori elettrici ed stabilisce che sono veicoli di due o tre ruote, con pedali completamente funzionanti, con una potenza elettrica minore a 750 W (1hp) e una velocità massima con motore operante minore a 20 miglia (32 km/h) quando è operata per un ciclista con peso 77kg (170 lb), come biciclette pari a quelle senza motore.

Un veicolo fabbricato commercialmente con prestazioni o caratteristiche superiori deve seguire con più prescrizioni per la sicurezza; le biciclette modificate da persone individuali includendo il montaggio di un motore, sono considerati in un modo specifico d'accordo al livello delle modifiche. Quando esce dalla categoria di "biciclette" la classificazione dipende da ogni

giurisdizione federale, ossia, le variazioni di requisiti di sicurezza e d'uso dipende di ogni stato (età minima consentita, uso obbligatorio o no del casco, patente, identificazione del veicolo, velocità massima, permesso di circolazione stradale interurbano, definizione come moped o motocicli o altro tipo, potenza massima, ecc).

3. 3. Riferimenti commerciali

In seguito saranno presentati in ordine alfabetico alcuni esempi recenti di marche commercialmente riconosciute che hanno una certa partecipazione o importanza globale nel mercato di biciclette a pedalata assistita, quindi producono biciclette elettriche o componenti che soddisfano le regole di molti paesi-regioni, e anche hanno protetto le loro invenzioni con brevetti. Dovuto a che queste marche si sono specializzate in sistemi di trasmissione per eBike, si possono trovare come *pezzo buy* di aziende di biciclette che, con alcune modifiche a richiesta, presentano il sistema con un nome adatto alle loro gamme (presumibilmente per motivi di commercializzazione o di garanzia).

3. 3. 1. Aseako

Marchio austriaco produttore di componenti brevettati e biciclette adatte al loro sistema [40], provviste di un motore montato nel movimento centrale con un riduttore che permette alzare la coppia motrice trasmessa dalla guarnitura. Il motore e il riduttore possono comprarsi come pezzi di ricambio oppure come parti separate che si possono aggiungere a un telaio che sia adatto geometricamente al sistema di Aseako; il motore è disponibile in due livelli di potenza -200 e 250 W-



Immagine 16. Reduttore Aseako.



Immagine 17. Motore Aseako.

garantendo che le biciclette Aseako non abbiano bisogno di matricola stradale o altre restrizioni locali. Parte della loro strategia commerciale è assicurare la capacità delle loro biciclette di salire in pendenze più pronunciate che prodotti concorrenti con la stessa potenza.

3. 3. 2. BionX International

Azienda canadese, produttrice di motori/generatori brushless per biciclette, forniti a importanti case di fabbricazione come Raleigh, Specialized e Trek (Silent Drive di 350W) [41], nota per il recente contributo alla bicicletta Smart annunciata in novembre di 2011 (di 250W), vincente di un premio *'best of the best'* da Red Dot Design Award 2012 [42]. Il motore è integrato al mozzo e grazie al suo compatto spessore può,

come nel caso della Smart, essere accoppiato con una trasmissione con variatore di velocità anche integrato. Ha una trasmissione diretta (quindi senza ingranaggi interni) e anche è uno dei pochi motori dotati di sistemi elettronici di controllo interno [43]. Questo motore è stato uno dei primi in presentare la possibilità di usare

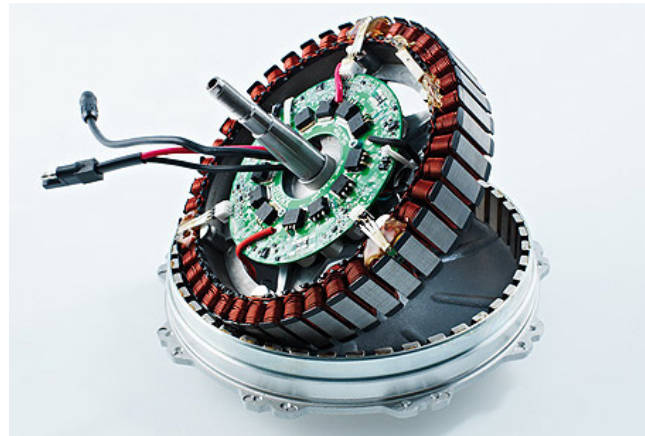


Immagine 18. Motore elettrico BionX.

il motore come generatore e in far menzione del termine “freno rigenerativo” in biciclette Pedelec.

3. 3. 3. BMW iPedelec

Presentata come parte del BMW iConcept, BMW ha progettato una bicicletta pieghevole con pedalata



Immagine 19. Bicicletta iPedelec. iConcept di BMW.

assistita, facilmente trasportabile per una delle loro vetture del iConcept. È un approccio notevole di una casa automobilistica che vede nella fibra di carbonio e la propulsione elettrica una possibile strada futura per i bisogni ambientali e tecnologici della mobilità sostenibile.

3. 3. 4. Bosch eBike Systems

Prendendo la loro esperienza come azienda produttrice d'una ampia gamma di prodotti, mobilità inclusa (da candele per macchine, turbocompressori e sistemi



Immagine 20. BMW iPedelec.

di diagnostico) anche Bosch GmbH sta ricercando nuove strade di miglioramento e prospettiva nel futuro prossimo. Bosch ha sviluppato in anni recenti un sistema di trasmissione da montare su biciclette, in modo tale di fare la conversione da una semplice bicicletta a una S-Pedelec. L'unità motore si fissa al movimento centrale, compatibile con una enorme quantità di telai, presente in più di 50 case produttrici (tra di loro Atala, Cube, Giant, KTM, Merida, Scott, Trek, VSF, ecc) [46]. Il sistema comprende la unità di motore trasmissione, una batteria smontabile sul triangolo interno del telaio, e una piccola centralina/ciclocomputer montata sullo sterzo



Immagine 21. Kit eBike System da Bosch.

della bicicletta, adattandosi perfettamente al crescente mercato di S-Pedelec tedesco. Il motore è dotato di multipli sensori di cadenza, coppia motrice, velocità, ed è disponibile commercialmente con due opzioni di potenza: Cruise (adatto alle regole Pedelec, cioè 25 km/h di velocità massima e 250W) e Speed (permette raggiungere 45 km/h con potenza nominale massima di 350W per S-Pedelec) [47].

3. 3. 5. Clean Mobile

Parte della divisione Antriebstechnik (Tecnologia d'impulso) di TQ Group GmbH, questo sistema compatto e brevettato è stato inventato per S-Pedelec tedesche ad alte prestazioni, con un motore elettrico leggero montato sul movimento centrale e personalizzabile a richiesta dei clienti [48] (che hanno incluso in passato a KTM [49]). Il suo uso più conosciuto è appunto nella concept bike di Audi presentata in 2012, che si augura in mercato nei prossimi anni e ha già un prototipo funzionante. Audi



Immagine 22. Motore Clean Mobile



Immagine 23. Audi eBike

afferma che la sua bicicletta raggiungerà gli 80 km/h grazie a questo meccanismo con potenza massima di 2300 W [50].

3. 3. 6. Giant Hybrid

A differenza di altri sistemi, la taiwandese Giant ha sviluppato un motore integrato al mozzo anteriore (più comune nei mercati asiatici), e non compromette nessun componente della trasmissione. Esclusivo da Giant [51], il motore SyncDrive è progettato sotto le regolazioni della Norma Europea e funziona d'accordo all'informazione rilevata da sensori installati all'interno dei pedali; usa un meccanismo a frizione che consente il movimento



Immagine 24. Giant Twist Lite (Hybrid)

libero della ruota anteriore quando il ciclista smesse di pedalare, frena, decide di non usarlo o semplicemente quando la batteria –istallata tra il portapacchi posteriore e il centro della ruota– non ha carica.

3. 3. 7. Panasonic

Ancora poco conosciuta, Panasonic ha una divisione specializzata nella progettazione di sistemi elettrici per biciclette, presente in passato in alcuni marchi importanti come Bianchi (eBike Puch), Giant e KTM. Le sue prestazioni limitati (con base anche alla normativa europea) rendono i loro sistema come un'opzione economica per chi vuole trasformare la sua



Immagine 25. Trasmissione Panasonic.
Istallata su una bicicletta Gitane Real eBike

bicicletta in Pedelec, con la affidabilità delle batterie giapponesi prodotte da Panasonic per i loro prodotti elettronici [52]. Il sistema motore è munito da sensori che permettono una pedalata assistita speciale in salita e anche un sistema rigeneratore che limita la velocità massima a 25 km/h e serve per caricare la batteria in discesa. Panasonic anche produce biciclette intere commercializzate come Panaebike [53], dotate dal loro sistema e destinate all'uso urbano.

3. 3. 8. Specialized (Turbo)

Lanciata in mercato nel 2013, questa bicicletta probabilmente è l'opzione più avanzata e già presente su mercato, con un prezzo di 5900 dollari americani [54] [D]. A differenza di altre biciclette, Specialized ha presentato una S-Pedelec che raggiunge i 45 km/h con un motore di 250W per essere adatta alla normativa europea. Per funzionare come una bicicletta normale e sotto regola, si offre la possibilità di limitare la velocità a 25 km/h [56] oppure si vende in concordanza con la legislazione locale, essendo Germania il mercato più pensato: quando non è una Pedelec per superare la

velocità massima, quindi una S-Pedelec o motocicletta leggera per legislazione tedesca, deve essere fornita da specchi retrovisori e targa che Specialized fornisce con le loro biciclette se non sono limitate a 25km/h. Tra le modalità di uso si trova l'opzione di pedalata rigenerativa, quindi il moto viene usato per caricare la batteria mentre si monta la bicicletta con una piccola resistenza e si consiglia di usarsi in discesa; il sistema funziona con sensori di cadenza che permettono aumentare lo sforzo dal ciclista raggiungendo maggiore velocità e anche rilevano circostanze dove il motore deve spegnersi oppure generare energia (resistenza). Probabilmente è la prima bicicletta prodotta in massa con una batteria

d) È il risultato di 5 anni di ricerca e sviluppo in Svizzera con molti parti (motori inclusi) fatti a misura [55].



Immagine 26. Specialized Turbo



Immagine 27. Motore posteriore Specialized

Immagine 28. Batteria della Turbo

inserita nel telaio e ha un peso totale di 22 chili (4-6 in più che una bici città comune), significa che anche è una delle S-Pedelec più leggere disponibili [57].

3. 3. 9. Suzhou Bafang Electric Motor Science-Technology Co., LTD

Con la crescita del mercato di biciclette elettriche –anche dei mopeds elettrici– all’interno della Cina, questa è l’azienda che probabilmente ha venduto la maggior quantità di kits di conversione per biciclette



Immagine 29. 8Fun BPM

ovvero la maggior quantità di motori elettrici di questo tipo per biciclette nel mondo [58][59], senza superare le cifre di vendita del fabbricante di eBike (non Pedelecs) più grosso del mondo: Luyuan Electric Vehicle [60]. Hanno un portfolio di prodotti di almeno 9 versioni diverse di motori brushless inseriti in mozzo [61] (commercializzati come 8Fun Motor) per posizionare in entrambe ruote, con meccanismi interni brevettati; dovuto alla sua varietà e rango di potenza, significa che una bicicletta configurata con due motori supera la potenza massima nominale limitata nella normativa europea e per quello, il kit è popolare fuori della Cina in paesi dove esiste una legislazione adatta a un livello di potenza maggiore per biciclette (come S-Pedelec in Germania o eBike negli Stati Uniti, paese dove è abbastanza comune) oppure dove è consentita la



Immagini 30 e 31. Kit Evolution

circolazione di mopeds elettrici ed esiste una legislazione specifica per il suo uso. Comunque, l'uso del kit con un solo motore che non superi 250W ne permetta una circolazione di più di 25km/h sarebbe consentito per la legislazione di paesi europei e infatti Bafang commercializza dal 2010 il kit "Evolution System" [62] progettato in Svizzera (destinato a S-Pedelecs con rango di potenza tra 350 e 750W).

3.3.10. Yamaha Motors



Immagine 32. Motore Yamaha

Uno dei primi sistemi elettrici per biciclette [63], il motore elettrico da Yamaha è una unità montata sul movimento centrale, presente sotto richiesta in marche come Giant (linea Hybrid, ad. es. Twist Freedom [64]), ed è progettato in



Immagine 33. Yamaha PAS Brace-L Special (2009)

biciclette Yamaha PAS che montano questo meccanismo [E] non sono ancora vendute in Europa con un mercato più focalizzato in Giappone, dove Yamaha è più noto per le sue motociclette elettriche adatte alla normativa locale, che rendono l'offerta di ebikes Yamaha come opzioni molto meno potenti. Malgrado il suo relativo successo come fabbricante di biciclette, i loro motori sono ben conosciuti nel mercato di eBike negli Stati Uniti e Germania (soprattutto per la crescita di S-Pedelec nonostante la potenza limitata a 250W dei motori Yamaha per biciclette) [60][66].

e) PAS è acronimo di *Powered Assisted System* [65]

corrispondenza alle normative europee. Tuttavia però, le



4. SISTEMI DI CAMBIO DI MARCE

Per una bicicletta con sistema di trasmissione ad albero esistono tre possibilità di variazione di marce: con cambi integrati al mozzo della ruota posteriore, accoppiato (integrato) al albero di trasmissione oppure integrato al movimento centrale o la guarnitura; questo ultimo non esiste come possibilità commerciale.

Comunque tutte le tre condividono lo stesso principio funzionale, cioè l'utilizzo di meccanismi posizionati attorno un asse di movimento. Partendo dalla base che si tratta della trasmissione di potenza da un asse longitudinale ad un altro asse parallelo (gli assi del movimento centrale e della ruota posteriore), che nel caso di una trasmissione ad albero condividono una relazione di movimento tramite un terzo asse, è possibile sostenere l'ipotesi di un principio funzionale uguale per qualsiasi tre. Il problema, come si è notato prima, giace nel dimensionamento e posizionamento della trasmissione in qualunque di questi assi.

Attualmente la maggior parte di questi soluzioni si focalizzano sul mozzo della ruota posteriore dovuto alla sua compatibilità con altre tipologie di trasmissione (a catena o cinghia) e infatti i variatori di marce integrati al mozzo esistono da molti anni; in quanto rimane a un variatore di marce posizionato nel movimento centrale, ha come problematica la condivisione dell'asse della guarnitura (in biciclette a catena) con la giunzione dei tubi del telaio, oppure (di essere spostata fuori del giunto del tubo sella come nelle biciclette Dahon [66]) ha uno spazio costretto o limitato in diametro alle condizioni geometriche del telaio, che da posizionarsi al di fuori di esso (occupando lo spazio abituale di una guarnitura di trasmissione a catena) avrà una quantità di marce limitate se è possibile raggiungere a una soluzione "geometricamente viabile". Dello stesso modo, non esiste ancora un sistema di variazione di velocità integrato a un albero di trasmissione di biciclette; esiste però il sistema presentato dal marchio tedesco Protanium, che è in realtà non è un variatore di velocità: denominato



Immagine 34. Relazione tra gli assi di movimento.

Gli assi del mozzo e del movimento centrale sono paralleli. In rosso la linea centro della bicicletta, perpendicolare a entrambi due.

Kardanmotor e presentato al Eurobike 2012, si tratta di un motore installato a una S-Pedelec (Protanium Shaft Motor [67]) progettata con un motore accoppiato a un'albero di trasmissione tramite ingranaggi planetari [68], dimostrando che il principio funzionale di aggiungere un motore al mozzo o al albero è molto simile; il sistema è in attesa di brevetto.

4. 1. Variatori di velocità integrati al mozzo

In seguito saranno descritti i sistemi di cambi di marce in biciclette, compatibili con una trasmissione ad albero, in ordine alfabetico per marchio, tipo o registrazione.

4. 1. 1. Fallbrook Technologies Inc.

Azienda statunitense, proprietaria di un brevetto depositato per un sistema di trasmissione a variazione continua (CVT) consistente in un planetario di variazione continua (*Continuously Variable Planetary* o CVP) con la registrazione commerciale di NuVinci.

Il sistema, con nome ispirato in sistemi di trasmissione progettati da Leonardo da Vinci [69] e prendendo fondamentali d'ingegneria moderna ma anche sperimentata dall'Ottocento [70], è un'innovazione rivoluzionaria non soltanto nel campo delle biciclette; in realtà l'azienda Fallbrook mira a introdurre questo sistema di trasmissione in applicazioni più grosse come sistemi di controllo e funzionamento delle autovetture, aria condizionata e anche di gestione della elettricità in unità di potenza ausiliaria (APU) come sostituzione di meccanismi di trasmissione esistenti [71].

L'applicazione nelle biciclette è stato infatti, il primo approccio commerciale per dimostrare l'idea e la sua fattibilità. In mercato ci sono due sistemi NuVinci di

cambi per biciclette integrati al mozzo: N360 e Harmony. Il primo fu presentato con grande successo in 2006 mentre Harmony è una derivazione adatta a biciclette elettriche con possibilità di variazione automatica in coordinazione –tramite sensori elettronici– con la cadenza/pedalata dell'utente chi può comunque usare il modo manuale.

A differenza di sistemi di trasmissione a variazione continua a catena o cinghia in motociclette e

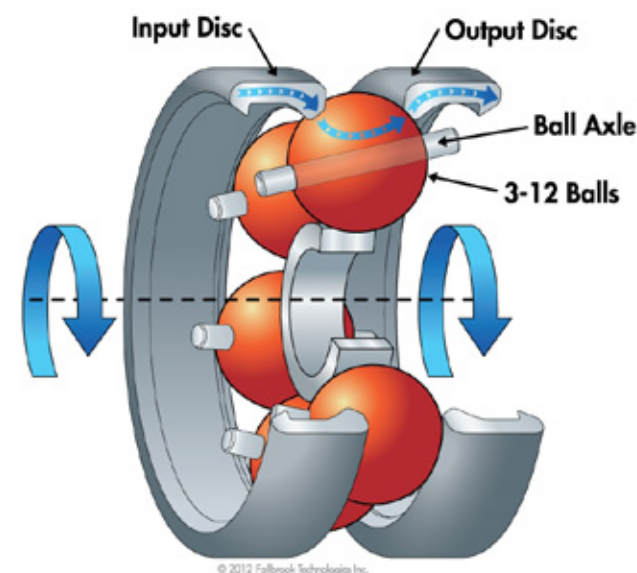


Immagine 35. Vista schematica del funzionamento del sistema NuVinci.

autovetture, il sistema NuVinci è un variatore dove il rapporto ingresso/uscita della forza è variabile tramite sfere collocate in rotazione su un cilindro coassiale [72]; due dischi (uno per l'ingresso, l'altro per l'uscita) si posizionano ai lati delle sfere ma senza contatto diretto: sono separati a una distanza molto stretta; tutto l'accoppiamento è in contatto con un liquido lubrificante elastoidrodinamico (*Elastohydrodynamic Lubrication* o EHL [73][74]), cioè che ha una struttura molecolare capace di solidificarsi in questi stretti spazi e permette il trasferimento del movimento tra i dischi e le sfere. Come risultato, lo spostamento del cilindro nell'asse modifica il punto di contatto delle sfere che ruotano attorno, cambiando anche il punto di contatto con i due dischi, variando la velocità angolare tra loro due e così,

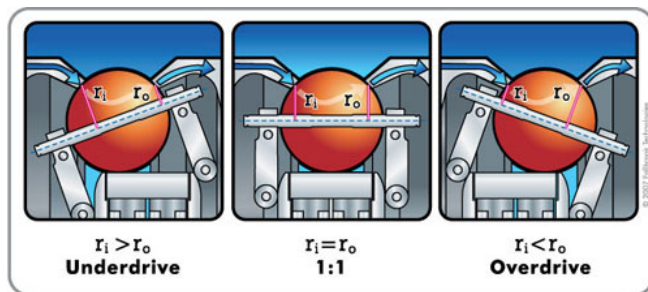


Immagine 36. Cambio di rapporto tra l'ingresso e l'uscita

L'evoluzione della progettazione del sistema NuVinci si ha focalizzato in ridurre il peso totale del mozzo (da circa 4 kg a 2.45 kg) [75] e sostituendo il cambio abituale (deragliatori, guarnitura con multipli corone dentate, cassetta pignoni, ecc.) ovvero togliendo il peso che comprenderebbe.



Immagine 37. Taglio in sezione di un mozzo NuVinci.

4. 1. 2. Rohloff AG

Rohloff ha cominciato a produrre componenti per biciclette nel 1986 come Rohloff GmbH, con la produzione della catena SLT99 di alta qualità e prestazioni, raggiungendo grande successo commerciale

e cominciando una associazione con Campagnolo per fornire catene OEM per i loro gruppi, con presenza in tutte le trasmissioni Campagnolo prodotte da 1989 a 1993, compresi quelli destinati alla competizione [76].

Dopo una passeggiata in bicicletta in una spiaggia francese con la sua famiglia durante lo svolgimento del Tour de France in 1994 (l'ultimo in cui lavorasse insieme a Campagnolo), la sabbia e il mare danneggiarono i pignoni delle biciclette, spingendo a Bernhard Rohloff a sviluppare un cambio integrato al mozzo, invulnerabile a questo problema [77]. Annunciò due anni dopo nell'Intermot di Cologne, la creazione di un sistema con 14 marce e 1700 grammi di peso, superando le prestazioni del mozzo Sachs Elan con 12 marce e 3700 grammi.

Aneddoticamente l'anno successivo quando -di nuovo all'Intermot- ha presentato un prototipo funzionante, Rohloff ricevè una cesta di spumante da parte degli dipendenti di Sachs che avevano scommesso contro di lui l'anno precedente e fu incontrato per il direttore responsabile da Shimano chi li chiese: “Shimano

potrebbe lanciare al mercato un cambio in mozzo di 14 velocità domani, ma peserebbe il doppio di quello fatto da lei” - ;Come le ha gestito?” [78].

Il sistema Rohloff di cambi integrati al mozzo si presentò sotto il nome commerciale di Speedhub 500/14, un mozzo di alte prestazioni assemblato delicatamente a mano in Germania, fatto per essere installato in qualsiasi tipo di bicicletta [79] includendo MTB e biciclette di sport stremi data la sua enorme resistenza agli urti, la chiusura ermetica della sua componentistica e il rango di marce che garantisce il suo uso in tutto tipo di terreno e pendenze, con qualità e prestazioni da competizione che



Immagine 38. SpeedHub 500/14 e trasmissione a catena Rohloff

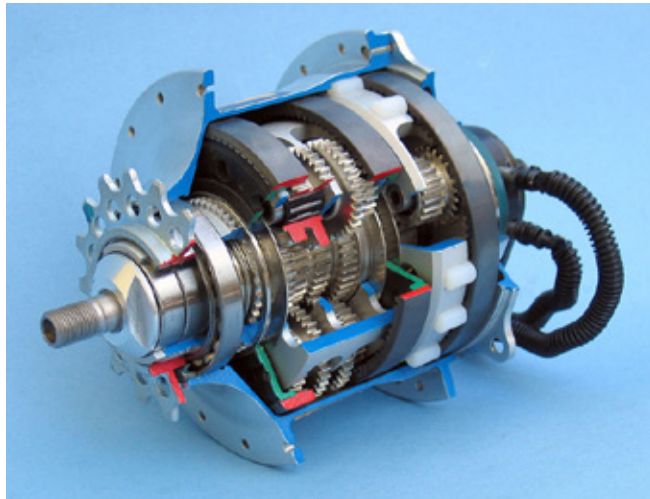


Immagine 39. Taglio in sezione del SpeedHub 500/14

può anche sostituire i cambi del movimento centrale. È considerato come un sistema di alta qualità e abbastanza specializzato, capace di gestire alti numeri di coppia oppure di uso intensivo professionale [80].

4. 1. 3. Shimano, Inc.

Probabilmente il produttore leader dell'industria di componenti per biciclette in quanto riguarda al volume e varietà della produzione, con una ampia gamma di linee e serie di prodotto, quasi "onnipresente" in tutto il mondo. Da quando si è fondata in Giappone in

1927 Shimano è rimasta come un'azienda pubblica di tradizione familiare [81][82], dedicata all'inizio a fare pignoni a ruota libera per biciclette e successivamente sviluppando l'enorme quantità di pezzi che offre per questo mezzo di trasporto, caratterizzata da pionierismo nell'introduzione di molte tecnologie e forme che hanno rivoluzionato il mercato di componenti, a volte stabilendo nuovi standards o normalizzazione della componentistica per biciclette.

Nel 1957 Shimano sviluppa un cambio di marce integrato al mozzo conosciuto come 333 [83], progettato senza contravvenire i brevetti depositati da Sturmey-Archer. Fosse il problema di quest'innovazione era la sua maggiore complicazione meccanica che non lavorava del tutto bene, dovuto anche alla qualità dei materiali che diminuivano la sua resistenza a sollecitazione di carico, danneggiandosi senza possibilità di riparazione [83]. Negli seguenti 20 anni la qualità dei materiali usati da Shimano incrementò, ma il successo dell'azienda non si focalizzava nell'affare dei mozzi con cambio integrato –un mercato piccolo, inesplorato e messo in ombra per il boom della bicicletta negli anni

70- e invece si è posizionata come una azienda leader mondiale nella produzione di gruppi per biciclette di corsa a livello di competizione [84], il mercato che ha la maggiore esigenza in innovazione d'ingegneria quindi, posizionandosi alla cima della ricerca e sviluppo di componenti e senza abbandonare le altre gamme di prodotto (a differenza di aziende di concorrenza diretta come l'italiana Campagnolo, specializzata unicamente nelle alte prestazioni in corsa).

La produzione del cambio 333 è rimasta per qualche anni senza un grande successo e finalmente a 1995

Shimano introduce la linea Nexus [85]; quarant'anni dopo la 333 Shimano è riuscita a proporre un sistema di cambio integrato al mozzo che ha riavviato in certo modo un mercato in quel momento quasi dimenticato, migliorando le diverse opzioni di Nexus (dipendendo dalla quantità di marce: 3, 7, 8) per bici città con un approccio ricreativo o di ciclisti amateur, poi sviluppando la linea Alfine progettata per evitare i fallimenti comuni legati ai primissimi sistemi Nexus ma anche indirizzata a coprire un mercato di una gamma più alta o con utenti più esigenti, disponibile in mercato da dicembre 2006 [86].



Immagine 40. Mozzo Shimano Nexus Inter-3 con freno a disco

Come altre variatori di marce integrati al mozzo posteriore, le gamme Nexus e Alfine si offrono con diversi opzioni di configurazione meccaniche disponibili di serie come possibilità di aggiungere il freno a contropedale, a disco o con Roller Brake (un sistema compatto di freno a tamburo Shimano) [87] e dalla primavera del 2013 è disponibile il sistema Alfine Di2 [89], munito dalla tecnologia senza fili della trasmissione DuraAce Di2 di competizione in corsa con variazione elettronica di cambi (8 e 11 velocità). Sebbene



Immagine 41. Schermo per Alfine Di2.

Indica il numero di marcia e carica della batteria del sistema di cambio elettronico.

sono diverse internamente, la geometria esterna dei mozzi con cambi all'interno è compatibile con la maggior parte dei forcellini di biciclette e condividono la configurazione di assemblaggio o sistemazione [89].

Grazie alla presenza globale dell'azienda [F], la sua capacità produttiva e alle caratteristiche dei cambi integrati al mozzo posteriore (il meccanismo è protetto da urti, fattori ambientali e interventi d'uso inadeguati) i sistemi da Shimano si trovano in un numero importante di biciclette di uso pubblico; fornitori noti

di trasmissione ad albero come Dynamic Bicycles o di biciclette pubbliche come Arcade Cycles –indicato nei capitoli precedenti– hanno progettato i loro prodotti con compatibilità ai sistemi di cambio integrato al mozzo di Shimano.

4. 1. 4. SRAM

Storicamente SRAM non è un marchio legato al mondo dei cambi per biciclette integrati al mozzo, trovandosi in concorrenza diretta con Shimano e Campagnolo nella gamma di competizione nonostante la sua fondazione relativamente recente a Chicago in 1987, introducendo in mercato il *Grip Shift* (trasformando l'abituale leva di comandi cambio per una impugnatura scorrevole, simile in uso all'acceleratore delle motociclette)[93]. Tre anni dopo della sua fondazione ha fatto causa a Shimano per pratiche commerciali sleali a causa di sconti offerte alle squadre di ciclismo che installassero tutti i componenti Shimano sulle biciclette, togliendo l'opportunità a fornitori di pezzi OEM per biciclette che non erano in grado di offrire tutto un gruppo con produzione propria [94]. Prima di andare in tribunale,

f) Shimano è membro fondatore della *Global Alliance for EcoMobility* [90], una Organizzazione Non Governativa fondata e avviata a Bali il 10 dicembre 2007 [91][92].

Shimano e SRAM arrivarono a un'accordo in 1991 [95] e SRAM ha cominciato a crescere come un'azienda nota per la alta qualità della componentistica per biciclette, specialmente nel mercato di MTB di alte prestazione.

In 2007 acquistò la divisione di biciclette della tedesca ZF Sachs AG [93], il secondo fabbricante più antico di motociclette ancora in produzione [96], che in anni precedenti aveva acquistato alcuni marchi tradizionali tedesche di biciclette, creando la divisione aziendale dedicata a quel mercato ed essendo delle poche –insieme alla inglese Sturmey-Archer– con una continua produzione e offerta di cambi integrati al mozzo. Con l'acquisto SRAM non solo si espanse internazionalmente trasferendo molti funzioni aziendali in Germania [97], anche prende la produzione di Sachs e rilancia la sua linea come SRAM i-3. Il nome Torpedo rimane come un mozzo SRAM modificabile da scatto fisso a ruota libera tramite il semplice avvitarmento di una vite laterale ma non come il tradizionale Sachs di cambio integrato [98] [99].

mozzo con cambio interno Sachs Torpedo di tre velocità [100], prodotto da molti anni e ampiamente conosciuto in Europa dovuto alla maggiore affidabilità e durata in contrasto a altri prodotti per biciclette fatti da Sachs. Oltre alla i-3, SRAM offre un sistema di cambio automatico di due marce integrato al mozzo commercializzato come Automatix [101]; anche è in fase di produzione (il primo sistema veramente SRAM) la linea G8, un cambio a 8 marce [102] (apparentemente intendido per sostituire la linea i-Motion 9 discontinuata in 2012) che rivale seriamente con l'uso di una cassetta dentata, sfruttando un vantaggio che hanno tutti i sistemi di cambio integrati al mozzo di qualsiasi



La linea i-3 è la continuazione marca SRAM del

Immagine 42. SRAM G8.

marca legato alla distribuzione del peso nella ruota che –senza pignoni in suo fianco– è più bilanciata e anche la distribuzione della forza trasmessa è più simmetrica; in risposta a questo problema in variatori di cambi tradizionali, alcune ruote posteriori di Campagnolo sono progettate con uno studio speciale della installazione dei raggi per compensare la sollecitazione in entrambi lati del cerchio dovuto alla asimmetria che rappresenta la cassetta installata in un lato della ruota, un sbilanciamento che diminuisce le prestazioni in alta competizione (Tecnologia G3 [103]).

4. 1. 5. Sun Race Sturmey Archer

Produttrice di cambi integrati nel mozzo per antonomasia, Sturmey-Archer è stata fondata come divisione dell'azienda di biciclette Raleigh nel 1902 da Henry Sturmey e James Archer in Nottingham, Inghilterra, sotto la direzione di Frank Bowden, il presidente di Raleigh [104]. L'invenzione del cambio integrato al mozzo posteriore si attribuisce a William Reilly, e fu lanciato commercialmente in 1898 per “The Hub 2-Speed Gear Company of Salford” come *The Hub* (o semplicemente “*Il Mozzo*”), dotato d'ingranaggi

planetari interni e due velocità. Reilly abbandonò sua relazione con The Hub, anche rinunciando ai diritti di sviluppo in futuro, per andare a Manchester e lavorare in Royce. Prendendo l'invenzione di Reilly, James Archer fece l'applicazione di un brevetto a 1901 mentre Henry Sturmey, prendendo ispirazione di esse, brevettò un mozzo con cambio integrato di 3 velocità [105] e brevettò un meccanismo di ruota libera automatica in 1902.

Sturmey concesse a Bowden i diritti del suo mozzo brevettato in ordine di farlo produrre da Raleigh, scoprendo amaramente poche settimane dopo la presenza di mozzi con cambio integrato in biciclette della concorrenza, trattandosi in realtà di mozzi a due velocità dal brevetto registrato da Archer [104]; Bowden



Immagine 43. Mozzo Sturmey-Archer AW.



semplicemente aveva comprato l'idea a Sturmey per evitare che aziende diverse a Raleigh possederanno i diritti commerciali eliminando possibilità di concorrenza e stava già producendo il mozzo Reilly brevettato da Archer che trovava economicamente più viabile e lo fornì a altri fabbricanti, garantendo il monopolio di questo nuovo mercato. Nonostante il problema Bowden riuscì a convincere a Sturmey di non scollegarsi da lui, creando una unione fittizia tra Sturmey, Archer, Reilly, G.P. Mills (il capo progettista di Raleigh) e Alfred Pellant (il rappresentante di Archer e Reilly) conosciuta come *The Three-Speed Gear Syndicate* e guidata da Sturmey dovuto al buon nome che la sua reputazione come esperto in ciclismo concedeva alla commercializzazione del cambio integrato di tre marce; poi quest'unione si trasformò in Sturmey-Archer nel 1903, nonostante la scarsa o nulla partecipazione di Sturmey chi si allontana dalla direzione della unione un anno dopo, mentre Archer faceva un'accordo legale con Reilly per concedere al vero inventore i diritti commerciali del mozzo con cambi integrati di due velocità [104].

Una volta stabilita la divisione Sturmey-Archer di Raleigh e per i seguenti tre decenni [106], le loro biciclette e cambi integrati si sono diventati molto popolari; in contrasto alla morte di Sturmey in 1930 –chi aveva brevettato un cambio di cinque marce in 1925– Sturmey-Archer introdusse con grande successo a 1936 la Serie AW, un mozzo di tre velocità che è rimasto in produzione fino 2001 [107], con una successiva introduzione della variante FW di 4 marce [106]. Anche a 1936 presenta il DynaHub GH12, un mozzo per ruote anteriori capace di generare elettricità [108] e usato per dotare biciclette durante la Seconda Guerra Mondiale con sistemi d'illuminazione autonoma.

Insieme a Raleigh la divisione Sturmey-Archer si è mantenuta per molti anni producendo componenti per biciclette legati alla trasmissione (mozzi, pignoni, guarniture, comandi cambio, ecc.) fino ai problemi finanziari di Raleigh di fine secolo, comprata per la statunitense Huffy Corporation in 1982 [109], poi venduta in 1987 a Derby Cycle (Germania) che, dopo molte pressioni economiche, decise di vendere la divisione Sturmey-Archer alla taiwanese Sun Race



Immagine 44. Sun Race Sturmey Archer SX3.

nel 2000 [106][110], azienda che trasferisce tutta la produzione a Taiwan e rinomina la divisione come Sun Race Sturmey Archer.

La produzione attuale di cambi integrati nel mozzo Sturmey Archer è una dell'offerte più ampie del mercato [111], compatibili con (o dotati di) sistemi di frenatura a tamburo oppure a contropedale, a ruota libera, e anche con asse base per cassetta di pignoni (sostituendo quindi i cambi installati nel movimento centrale). Le linee di prodotto sono diversificati in 2 marce (automatiche), 3, 5, e 8 velocità con diverse configurazioni di materiali e finiture esterne, variazioni del rapporto entrata/uscita, ruota libera o a scatto fisso, con o senza cassa interna mobile (freehub).

5. ENERGIA CINETICA E DIREZIONAMENTO DEL MOTO



Immagine 45. Inversore di spinta aperto.

Motore turbofan Pratt & Whitney Canada PW535A installato in un Cessna Citation Excel.

5. 1. Inversori di spinta in aerei

Con l'avvenimento di aeromobili più grossi, pesanti, potenti, ma soprattutto più veloci grazie alla

massificazione del motore a reazione, si è creato il problema di fermare un aereo nell'atterraggio per garantire condizioni di sicurezza con le stesse larghezze di pista d'atterraggio. Dovuto a queste maggiori

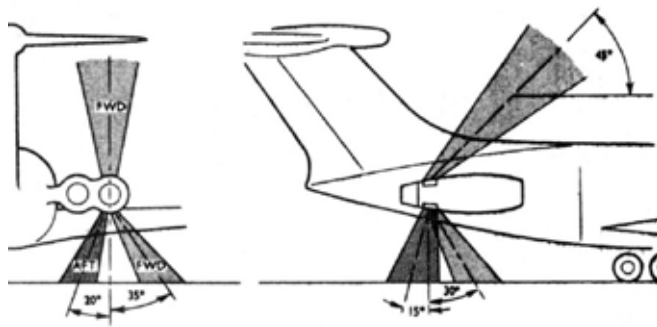


Immagine 46. Disegno di spinta invertita.
Vickers VC-10

sollecitazioni è diventato impossibile la dipendenza assoluta di dispositivi di freno meccanici, dovuto al loro principio funzionante di trasformare la energia cinetica in energia termica mediante l'attrito per diminuire la velocità del moto: peso e velocità maggiori implicano una quantità d'energia cinetica molto più alta, facendo che i sistemi frenanti si surriscaldino a temperature molto più elevate da quelle che permettono una frenata effettiva, anche elevando la pressione e temperatura interna dei pneumatici risultando nella loro esplosione.

Per risolvere questo problema e perciò il suo uso militare (caccia), i primi aeri provvisti di motore a reazione avevano un paracadute per aumentare la frenata. Con lo sviluppo di aeri di linea con motore a

getto e dopo l'importanti lezioni apprese con l'effimero successo del DeHaviland Comet, aziende come Boeing e Douglas hanno lavorato per sviluppare aeri commerciali capaci di diminuire la loro velocità usando principalmente la potenza motore; Boeing presentò a 1958 il 707, il primo aereo di linea dotato con inversori di spinta in ogni motore (fornito da quattro turbogetti Pratt & Whitney, modello JT-3 [112]), un sistema che permesse deviare (invertire) la direzione del getto, che passa attorno all'esterno del motore, in ordine di aumentare la decelerazione al momento di atterrare tramite strutture specialmente progettate. Comunque si sono sviluppati sistemi meccanici che garantiscono



Immagine 47. Boeing 367-80 "Dash 80"
Prototipo funzionante dei 707 e KC-135, volò per prima volta il 15 luglio di 1954

la frenata d'un aereo in caso di fallimento dei sistemi/componenti degli inversori di spinta, principalmente i freni a con fibra di carbonio [113] che possono supportare temperature più alte e diminuiscono il peso totale dell'aereo [113], ma usati come sistema principale di frenatura soltanto in questi situazioni d'emergenza: un atterraggio di un Boeing 747 con usura totale di freni e ruote è una situazione in cui si deve fare il ricambio di tutti questi componenti, con un costo di circa mezzo milione di dollari americani [114]; i freni sono componenti che si risparmiano al di più possibile nell'operazioni di molti aerei [113] dovuto al suo costo oppure alla sua disponibilità (ad esempio in aeroporti piccoli o di regioni remote).

Un altro tipo d'inversore di spinta in aerei è legato alla elica. Dagli anni 30 si è sviluppata la tecnologia d'elica a velocità costante [115][116], un sistema che



Immagine 48. EADS/Airbus Military 400M Atlas
Prova d'atterraggio su superfici bagnate usando gli inversori di spinta, il 1^{mo} Novembre 2011.

usando governatori idraulici cambia il passo delle pale e mantiene i giri per minuto costanti indipendentemente della potenza derivata dal motore che è controllata con l'acceleratore [117]. Normalmente l'elica installata in motori a pistone ha soltanto la funzione di propulsione oppure quella di "mettere in bandiera" quando si spegne il motore in volo (in ordine di diminuire la resistenza della elica e fermare il suo movimento rotazionale). Con l'invenzione del motore turboelica –una turbina a gas che invece di produrre propulsione a getto ha collegata

una elica mediante riduttori a ingranaggi– e capace di sviluppare maggiore potenze che i motori a pistone, si è approfittata la possibilità di cambiare il passo delle pale per invertire il suo angolo d'utilizzo e dirottando così la propulsione in senso inverso durante la fase d'atterraggio [118].

Gli inversori di spinta hanno un ruolo fondamentale nell'atterraggio, ma in alcuni aerei specialmente progettati possono usarsi anche in volo per aumentare il tasso di discesa; permettono alcune operazioni in terra particolari (retro taxi, giri stretti) [119] ed è molto utile in idrovolanti per l'operazione in mezzi acquatici (dove non è possibile l'utilizzo di freni né sono molto efficaci gli aerofreni, neanche esiste la possibilità di essere trainati da un veicolo rampa).

In entrambi i casi –motore a getto o turboelica– è possibile cambiare il comportamento dell'aereo e invertire la direzione della spinta senza invertire il giro del motore (che salgono fino a 18000 giri al minuto) e approfittare la loro derivazione di alta potenza per decelerare.

5. 2. Motore Diesel con freno motore

Questo sistema, brevettato per Clessie L. Cummins tra 1962 e 1965, prodotto per prima volta dalla Jacobs Vehicle Systems [120] (ancora in produzione e commercializzato come 'Jake brake' negli Stati Uniti) è un meccanismo di frenatura installato nei motori Diesel per diminuire la velocità (soprattutto in discesa) in grandi veicoli senza usare i freni meccanici. Cummins (fondatore dell'azienda di motori Diesel che porta il suo nome e uno dei pionieri nello sviluppo dei motori Diesel moderni [121]) notò la perdita d'efficacia dei freni meccanici in camion dopo un uso estensivo dovuto al surriscaldamento degli stessi e nonostante un uso adeguato del cambio di velocità; infatti l'idea di creare un sistema di frenatura alternativo ai soliti freni li è venuta in mente dopo di evitare miracolosamente un accidente a bordo di un camion in 1931, mentre finiva un percorso su una pronunciata e prolungata discesa in cui i freni si diventarono inefficaci e hanno smesso di funzionare [122][123].

Il meccanismo si denomina correttamente come

compression release engine brake o **freno motore con liberazione di compressione**. Si usa questa denominazione a causa della esistenza di altri sistemi di freno motore (come la variazione di pressione del gas di scarico) e altre marche concorrenti a Jacobs, comunque 'freno motore' è l'uso più comune (in italiano).

Abitualmente in un motore a quattro tempi (ciclo Otto) esistono quattro fasi ideali individuati nel ciclo



Immagine 49. Interruttore di un freno motore Jacobs

di generazione di potenza: ammissione, compressione, esplosione e scarico; i motori Diesel sono diversi ai motori a benzina dovuto a un indice di compressione maggiore (invece di 6:1 a 12:1, un motore Diesel funziona con un rango di compressione di 14:1 a 23:1 [124]) che permette una combustione del carburante senza candele. Grazie a questa proprietà i motori Diesel erogano una coppia motore relativamente maggiore a bassi giri al minuto rispetto a quella che produce un motore a benzina, adatti al trasporto di carica pesante. Cummins si concentrò in approfittare le proprietà di grandi motori Diesel in grado di far salire veicoli commerciali in pendenze, per permettergli anche una discesa sicura.

Il freno motore brevettato da Cummins consiste in una modifica nell'albero a camme che permette variare uno dei tempi del ciclo motore [122]: comunemente la valvola di scarico in un motore a quattro tempi si apre soltanto nella fase di scarico, ma con il sistema attivo la valvola di scarico si apre prima e durante il ciclo di compressione, liberando l'aria compressa e togliendo l'erogazione di potenza (anche aumentando la frizione

all'interno dei cilindri [125]); si a questo si aggiunge l'inerzia del moto del veicolo, cioè la forza resistente risultante e trasmessa dalle ruote all'albero motore, la resistenza effettuata dal motore in avviamento e assente di compressione contribuirà a controllare la velocità del veicolo in un modo più effettivo che solamente usando il cambio velocità e i freni meccanici [126].

Il sistema può attivarsi e disattivarsi a volontà tramite un semplice interruttore (individuale per tutto il motore o indipendenti per vari cilindri dipendendo della sua configurazione), quindi il veicolo può essere usato in modo normale su terreni piatti o in salita; dovuto agli elevati livelli di rumore che produce messo in funzione, l'uso del sistema è vietato (o limitato a determinate ore del giorno) in zone urbane e abitate di molti regioni del mondo [123][127][128]. Comunque l'invenzione del freno motore ha permesso lo sviluppo o l'operazione di veicoli commerciali di maggiore capacità con un enorme risparmio di usura nelle gomme o dei freni meccanici. Per quello è stata inclusa come una dei cento invenzioni di ingegneria più importanti nel Novecento all'interno degli Stati Uniti [122].

5. 3. Frenatura rigenerativa

Dello stesso modo che in veicoli commerciali o in aerei –dove lo sviluppo di sistemi alternativi alla frenatura meccanica è necessario in condizioni dove la larghezza e le sollecitazioni del mezzo di trasporto superano la capacità dei meccanismi frenanti, oppure dove i livelli di potenza o il tipo di fonte d'alimentazione permettono un controllo o decelerazione più affidabile o efficace– i primi sistemi di frenatura rigenerativa si sono progettati per treni e tram con funzionamento elettrico [129].

Il termine “rigenerativo” si riferisce alla capacità o proprietà di reindirizzare o d'immagazzinare l'energia cinetica del moto invece di fare una solita trasformazione in energia calorica (con freni meccanici) per diminuire la velocità del veicolo [130]. Nel caso dei treni o di molti trasporti di massa sulle ferrovie, il ordine di grandezza della potenza, velocità e/o peso si riassumono in alte quantità d'energia cinetica; con la motorizzazione elettrica, è stato possibile sfruttare il vantaggio che offrono i motori elettrici per generare elettricità quando girano in senso contrario; configurando il sistema per



invertire il movimento dei motori elettrici usando il moto del veicolo come fonte, la forza frenante si ottiene a partire dalla resistenza prodotta dai generatori in funzionamento, contribuendo a diminuire la velocità mentre si caricano le batterie del mezzo, diminuendo il consumo d'energia proveniente dalla fonte principale di alimentazione.

I diversi meccanismi di frenatura rigenerativa datano dall'inizio del Novecento, sviluppati e brevettati in Inghilterra, grazie ai lavori della metro londinese e la crescita delle linee, che prevedevano il uso di carrozze motorizzate elettricamente dovuto al uso sotto terra (dunque senza emissioni). La maggior parte dei brevetti sono stati presentati da John Smith Raworth tra 1893 e 1911 [129]. Il suo figlio Alfred Raworth invece, si concentrò in continuare non soltanto con il lavoro o la rappresentazione legale dell'azienda legata dal suo padre, anche di partecipare attivamente nella crescita dell'industria energetica britannica, includendo le linee ferroviarie costruite dopo la Prima Guerra Mondiale [131]. Con l'espansione delle rete urbane di trasporto a fili in Europa e gli Stati Uniti [132], molte delle tecnologie

sviluppate su motori elettrici si è diventata comune inclusa la frenatura rigenerativa, come un modo sicuro, affidabile ed economico di operare treni [133].

Dovuto alla misura di questi mezzi, la linea di distribuzione elettrica e gli dispositivi di immagazzinamento, di gestione o di generazione dell'energia sono soluzioni "relativamente" compatte. Il problema è però, far funzionare questo concetto di frenatura rigenerativa in altri mezzi, soprattutto in quelli che non sono alimentate direttamente da energia elettrica [134]. Questo è il motivo per cui il termine frenatura rigenerativa è apparso soltanto in anni recenti, con l'avvenimento dei veicoli "ibridi" oppure con l'inclusione del principio di generazione elettrica o immagazzinamento dell'energia cinetica su vetture -ad. es. la Formula 1- che non sono però soluzioni esclusivamente elettriche.

5. 3. 1. KERS

Il termine *frenatura rigenerativa* a volte si fa menzione insieme all'immagazzinamento dell'energia cinetica,

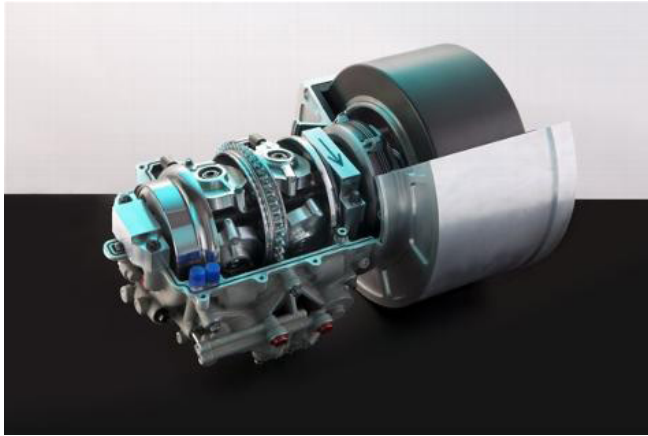


Immagine 50. Sezione del primo KERS Flybrid sviluppato per Formula1

dovuto al recente sviluppo della tecnologia KERS per autovetture (*Kinetic Energy Recovery System* o sistema di recupero di energia cinetica) [135]. Il KERS è in essenza, un dispositivo che permette “prendere” parte dell’energia cinetica del moto (contribuendo a la decelerazione del veicolo) e poi restituirla per riavviare o incrementare un’eventuale accelerazione; grazie a questa tecnologia, è possibile immagazzinare l’energia cinetica tramite un volano specialmente progettato e anche è possibile trasformarla in elettrica (usando il volano come motore-dinamo elettrico) per il suo immagazzinamento in supercapacitori o batterie.

Il suo uso come dispositivo di recupero o immagazzinamento d’energia cinetica nei vetture della Formula 1 è stato testato per prima volta a 2008 [135].

Il cambio di prestazioni in competizione legato allo sviluppo del KERS o il suo sfruttamento è precedente a qualsiasi regolazione della FIA per un sistema del genere, spingendo la modifica del regolamento (limite minimo di peso totale dei monoposti 640 chili) in ordine di limitare l’uso della tecnologia oppure di garantire uno sviluppo maggiore e disponibile per tutte le squadre, che possono installare il KERS a volontà sotto le condizioni specialmente dedicati al suo utilizzo [136]. Il KERS offre una interessante sfida agli’ingegneri progettisti dovuto al suo peso oppure alla geometria; con gli stretti margini d’errore che fanno la differenza in competizione della Formula 1, l’uso del KERS non risulta sempre possibile o vantaggioso nonostante di diventarsi in una caratteristica degli squadre/piloti vincenti negli ultimi tre anni, dovuto a che normalmente i bolidi sono più leggeri [135] dal peso minimo, quindi possono usare zavorre distribuite in modi diversi per equilibrare di modo migliore il baricentro del veicolo; con il peso

adizionale del KERS la quantità di zavorre o la loro distribuzione viene diminuita.

D'altra parte, il team WilliamsF1 ha creato una divisione (Williams Hybrid Power) specialmente dedicata alla creazione di un KERS che, per motivi di

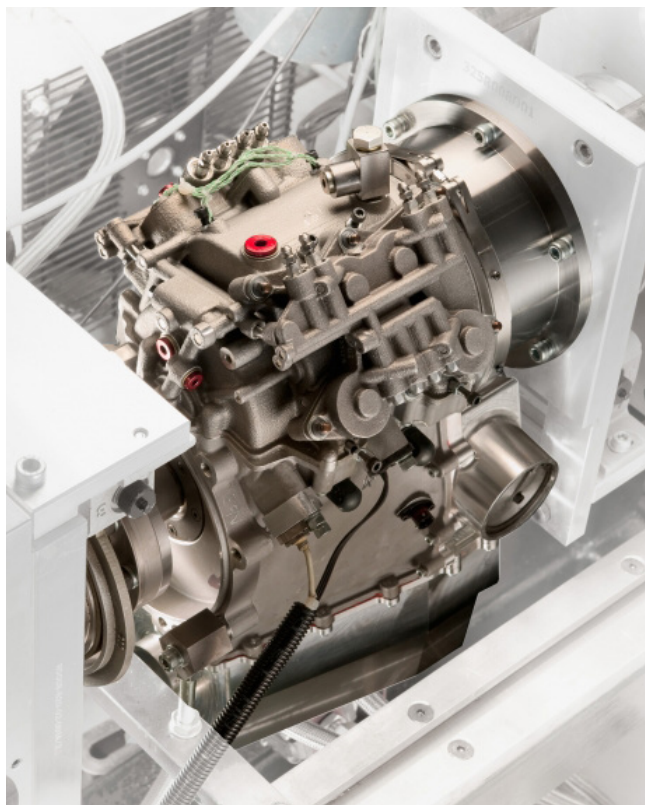


Immagine 51. Modulo M-KERS di ToroTrak in un banco di prova.

dimensionamento, non si ha potuto integrare nelle sue vetture F1 ma invece si può installare in altre macchine di competizione come un dispositivo addizionale per incrementare le prestazioni [137].

Con l'aumento e disponibilità di autovetture ibride, cioè macchine provviste da motori di combustione interna a ciclo Atkinson (invece di quattro tempi) e lavorando insieme a un altro motore –di solito a motori-generatori elettriche– che permettono un grande risparmio di carburante, la tecnologia KERS aumenta la capacità dell'autovettura per caricare le sue batterie, prolungando la autonomia del sistema elettrico; usando i principi della tecnologia KERS di “recuperare” l'energia cinetica del moto e proveniente da competizione, anche i fabbricanti di automobili d'alta fascia come Ferrari o McLaren hanno presentato all'inizio del 2013 i loro modelli di autovetture ibride con alti livelli di potenza o autonomia raggiunte grazie all'utilizzo di KERS [138][139]; diverse case automobilistiche stanno adottando la tecnologia KERS come un sistema di miglioramento delle proprietà delle macchine ibride, oltre al prolungamento dell'autonomia, come un sistema

di assistenza alla potenza motore applicato in soluzioni di start-and-stop, controllo di velocità in discesa oppure assistenza di spinta in salita. Tra le più noti progettisti di KERS si trovano Zytek Motorsports (specializzato in competizione), Flybrid Automotive Ltd. che allo stesso tempo è in associazione con Torotrak PLC, tutti i due sviluppatori di sistemi KERS con volano ad alta velocità angolare e collegato alla trasmissione di automobili tramite una trasmissione di variazione costante che permette controllare la potenza di frenatura oppure la coppia erogata dalla trasmissione al volano, in ordine di fare un controllo progressivo [139].

5. 3. 2. Hydraulic Launch Assist.

Conosciuto anche per il suo acronimo HLA (*Assistenza di Lancio Idraulico* in italiano), è stata una tecnologia sviluppata dalla divisione Hydraulic System Division di Eaton Corporation, un'azienda specializzata in sistemi energetici con sede a Cleveland, Stati Uniti [140]. Si tratta di un sistema ibrido idraulico di frenatura rigenerativa, progettato per installarsi in veicoli commerciali [142] [143].

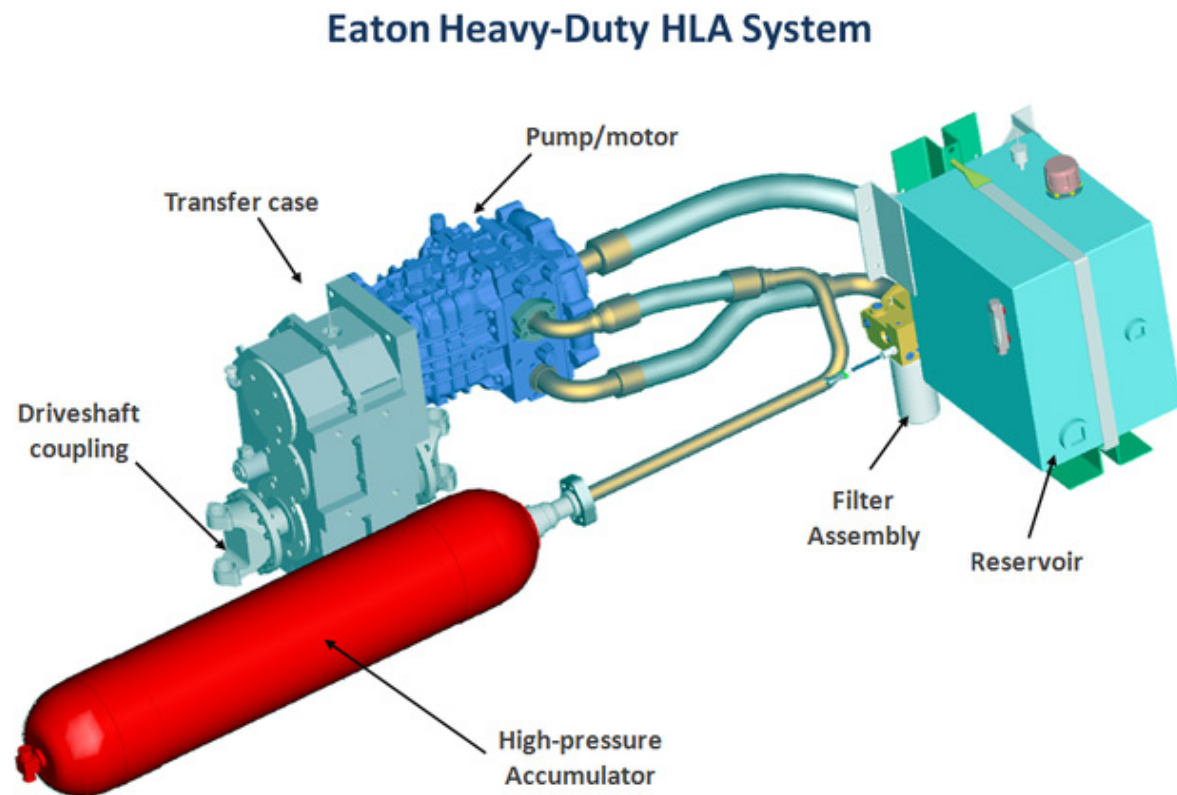


Immagine 52. Schema di funzionamento di un HLA installato su un camion per i rifiuti Peterbill 320.

Il cambio velocità (*Transfer case*) è collegato a una pompa/motore idraulica che trasferisce flusso idraulico da un serbatoio (*Reservoir*, bassa pressione) a un accumulatore (*High-pressure Accumulator*), alzando la pressione interna mentre rallenta il veicolo senza uso dei freni meccanici.

A differenza dei sistemi ibridi che sono integrati come parte del sistema motrice per fare una trasformazione di energia cinetica in energia elettrica tramite le proprietà di motorizzazione/generazione elettrica di motori

collegati a un propulsore veicolare (come il KERS spiegato precedentemente), il sistema idraulico HLA permette trasformare la energia cinetica in energia potenziale, immagazzinando il recupero di energia cinetica mediante accumulatori pneumatici che anche sono indipendenti dal sistema motrice, collegato soltanto come parte della trasmissione [144].

Un flusso idraulico viene compresso grazie



Immagine 53. Peterbilt 320, con trasmissione dotata di un HLA da Eaton.

all'erogazione rilevata dal albero di trasmissione, in ordine di ricevere la forza risultante (inclusa quella resistente) in situazioni di riduzione di velocità, invece di usare i freni meccanici per aumentare la forza resistente nell'utilizzatore; una volta il sistema si è avviato, un ingranaggio specialmente dedicato nella trasmissione trasferisce a una pompa/motore idraulica l'impulso dell'albero di trasmissione, invece di trasmettere (come di solito) quella forza di ritorno al motore; l'aumento di pressione del flusso idraulico comprime un pistone contenuti in un cilindro ermetico (di alta pressione) pieno di gas azoto, alzando la pressione del gas e accumulando così energia potenziale, che può avere un ritorno al sistema di trasmissione per un'assistenza con l'inversione della procedura, cioè si libera la pressione del pistone pneumatico permettendo che la trasformazione da energia potenziale a cinetica risulti in una spinta dell'albero trasmissione grazie alla circolazione di flusso idraulico nella pompa/motore che permette assistere l'erogazione di potenza motrice oppure risparmiare carburante in situazioni di aumento di velocità o di sollecitazioni.

L'HLA è progettato come un sistema economico per controllare la velocità del veicolo, anche come sistema “*start-and-stop*” in cui il motore si ascende o spegne automaticamente quando si ferma il veicolo, facendo che la forza di frenata sia immagazzinata durante il spegnimento e usata per favorire l'ascensione [145].

Attualmente è disponibile in veicoli commerciali Ford (gamma F-450) e si sono sperimentate soluzioni nel trasporto militare, scuolabus (basati anche sulla F-450) e gestione di rifiuti (Peterbilt Motors) [143]; lo scopo dei progetti è quello di diminuire il consumo di carburante in applicazioni d'uso specializzato approfittando il ordine di grandezza, tenendo in conto che il HLA è una soluzione viabile in veicoli commerciali grazie alla loro erogazione di potenza e dimensioni [145], in contrasto con le soluzioni ibride elettriche che risultano più adatti in automobili molto meno pesanti oppure senza lo spazio necessario per adottare il sistema idraulico o un cambio di velocità con ingranaggi interni modificati [146].

5. 3. 3. In biciclette

5. 3. 3. 1. Regenerative Brake Launch Assist (RBLA)

In modo simile che nel sistema HLA spiegato precedentemente, il RBLA [147] (acronimo di *Freno Rigenerativo a Lancio Assistito* in lingua inglese) è composto da un accumulatore di alta pressione, una pompa di lancio, una riserva di bassa pressione e una pompa rigenerativa. Quando si preme il freno idraulico, la pompa rigenerativa si avvia e, usando il momento della bicicletta, alza la pressione e trasferisce flusso idraulico dalla riserva a bassa pressione mentre simultaneamente rallenta la bicicletta. Quando il accumulatore di alta pressione raggiunge il suo livello massimo d'utilizzo (3000 PSI o circa 20.7 MPa) si inizia il lancio, quindi il flusso a pressione è liberato alla pompa lancio che alimenta il movimento della ruota anteriore.

Il progetto è sviluppato dalla collaborazione della Agenzia di Protezione Ambientale degli Stati Uniti (EPA) con studenti della Università di Michigan, applicando la tecnologia idraulica sviluppata per veicoli



Immagine 54. Ruota anteriore del sistema RBLA



Immagine 55. Visualizzazione all'interno del RBLA

commerciali e autovetture e inserendo il meccanismo all'interno della ruota anteriore. Con questa tecnologia si prevede il semplice cambiamento di qualsiasi ruota

anteriore di bicicletta per adottare il sistema, che usando l'energia proveniente dalla frenatura e dotata di lancio idraulico, permette risparmiare fino al 70% dell'energia di frenata. Questo significa che frenando da 20km/h il sistema è in capacità di riavviare la bicicletta con una spinta che riagguanterebbe almeno 17 km/h.

5. 3. 3. 2. Copenhagen Wheel

È stato un progetto sviluppato per un piccolo gruppo di studenti presso al MIT [148], insieme a diverse organizzazioni internazionali (tra di loro il Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare d'Italia e Ducati Energia S.p.A.). Presentata su una bicicletta Cinelli Mystic, la Copenhagen Wheel [149] è una ruota posteriore con un meccanismo centrale dotato di un motore elettrico centrale con diversi possibilità di configurazione elettronica (installazione di sensori) che permetterebbe trasformare qualsiasi bici città in una bicicletta a pedalata assistita, ma non necessariamente in una bicicletta elettrica, cioè dotata di batteria, installazione elettrica dedicata, ecc. Invece, si concentra nello sviluppo di una ruota con motore/generatore in



Immagine 56. Concept della Copenhagen Wheel.

capacità di far funzionare la bicicletta come di solito, con la possibilità di generare energia immagazzinata e distribuita all'interno della ruota, sia per una eventuale assistenza alla pedalata, che per mantenere un contatto permanente con uno smartphone in grado di controllare diverse funzioni della ruota tramite i sensori specialmente adatti, e collegare l'utilizzo della bicicletta dotata della Copenhagen Wheel con il social media e collegato a sistemi di tracciamento satellitare GPRS [148].

Quindi, al di più che essere una semplice conversione a bicicletta elettrica, il progetto della Copenhagen Wheel è quello di usare l'energia della frenatura rigenerativa oppure generata in situazioni di utilizzo alternativo (come i Pedelec dotati di mozzi elettrici con generatore che possono approfittare le discese per aumentare la generazione d'elettricità) per produrre un feedback tramite lo smartphone: situazioni di traffico stradale, localizzazione, velocità

del mezzo, livelli di inquinamento dell'aria dove si muove, ecc.

Concettualmente è stato un approccio interessante, tenendo in conto la sua apparizione in dicembre 2009 (alla Conferenza ONU sui cambiamenti climatici 2009 tenuta in Danimarca) quando i social media oppure la disponibilità di smartphone era più limitata che adesso; quindi è precedente a molte delle tendenze che definiscono l'utilizzo o il consumo di dati con telefoni cellulari, la diffusione di applicazioni o il trending; il



problema appunto è che oltre al controllo oppure al feedback ottenuto con il smartphone, o la capacità della ruota per assumere molti sensori a volontà dell'utente, il sistema rigenerativo non prevede un uso più profondo della tecnologia, assolutamente dipendente dell'uso di questi telefoni per funzionare [150]; non si tratta di una proprietà esclusiva dovuto all'avvenimento delle Pedelec con motori/generatori integrati al mozzo, ma neanche si può classificare come una conversione a bicicletta a pedalata assistita; semplicemente è una ruota con un sistema di funzionamento rigenerativo che permetterebbe un miglioramento e maggiore controllo su l'uso delle biciclette in città e dimostrerebbe con cifre ed statistiche generate in *real-time* il cambiamento che l'uso massivo di biciclette può apportare a una città.

5. 3. 3. 3. Mechanical KERS for bike

Maxwell von Stein, studente presso la *Cooper Union for the Advancement of Science and Art* (New York) [151], presentò nel 2011 un interessante prototipo di una bicicletta con un "KERS meccanico" per biciclette. Prendendo inizialmente un volano di una

vettura Porsche di circa 7kg e modificando un telaio di mountain bike [152][153], installò una seconda trasmissione a catena che permette prendere l'energia cinetica del moto della bicicletta per immagazzinarla col dispositivo inerziale per contribuire al rallentamento della bicicletta e in ordine di riavviare il suo movimento, in alternativa ai freni meccanici. Il concetto dimostra che è possibile usare gli stessi principi funzionanti di un KERS automobilistico in veicoli di propulsione umana, cioè di "bassa potenza motrice" oppure senza il grado di precisione o di prestazioni di maggiore portata motrice.

Come concept, ha vinto il Nicholas Stefano Prize [151] dalla Cooper Union per la sua interessante proposta di avere un'alternativa frenante ai freni meccanici senza l'utilizzo di tecnologie complesse o dipendenti dell'elettronica, quindi è attraente per la sua semplicità e praticità. Il ciclista decide in che momento "avvia" il sistema usando il cambio integrato al mozzo (NuVinci di velocità continuamente variabile), permettendo al volano ricevere l'energia cinetica proveniente della ruota posteriore, o "spegnendo" il sistema invertendo l'operazione per darle alla bicicletta della energia



Immagine 57. Bicicletta e prototipo del KERS per biciclette.

immagazzinata, che una volta erogata diminuisce la velocità angolare del volano.

Alcuni punti deboli sono però il maggiore [154] peso che l'installazione del sistema presenta sul peso totale di una bicicletta, la modifica proposta sul telaio, la maggiore

quantità di pezzi meccanici in movimento e anche la fattibilità del sistema di essere messo in produzione, ma rimane per adesso come un'approccio interessante e quasi inesplorato delle caratteristiche offerte da un meccanismo del genere quando viene aggiunto

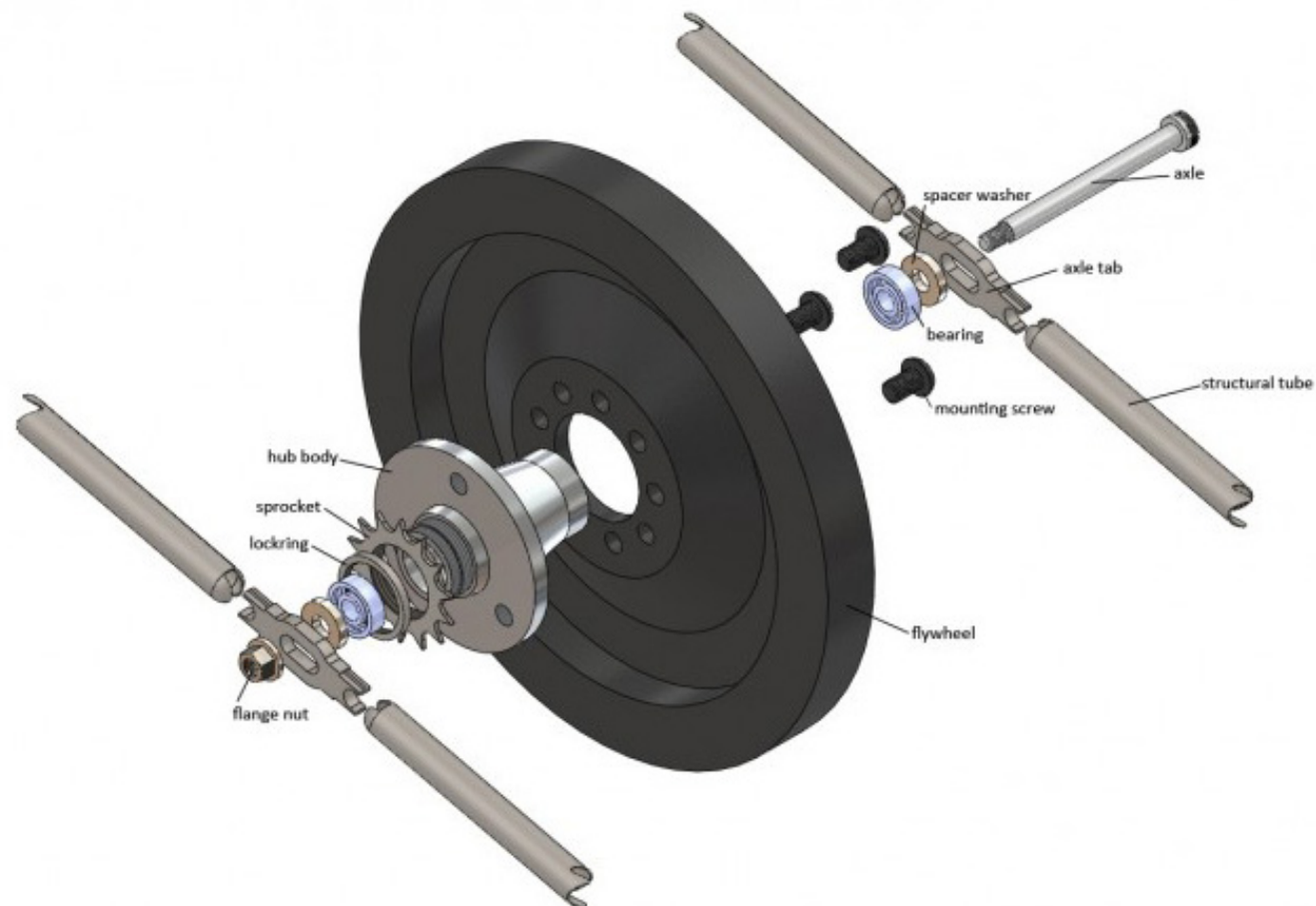


Immagine 58. Esploso del volano e la sua struttura.

a una bicicletta. Comunque (e comparativamente) è meno complesso che la soluzione RBLA per biciclette sviluppata dal EPA negli Stati Uniti, che ha come punto di forza la contenzione del sistema di recupero all'interno

della ruota anteriore, mentre la soluzione di von Stein rimane in vista ed esposta agli elementi oppure possono causare interazioni accidentali con il ciclista.



PARTE II - PROGETTAZIONE

RIASSUNTO TEMATICO

6. CRITERI DI PARTENZA

Bicicletta da città, progettazione CAD di base.

7. TRASMISSIONE AD ALBERO

Progettazione CAD e applicazione di materiali alla trasmissione, gli ingranaggi, assieme generale.

8. MOLTIPLICATORE EPICICLOIDALE

Progettazione CAD e applicazioni di materiali ai componenti, assemblaggio.

9. DISPOSITIVO INERZIALE

Componenti progettati, rapporto con la trasmissione e capacità di frenatura

10. RISULTATI

CONTENUTO NON DISPONIBILE



BIBLIOGRAFIA

1. Wikimedia Foundation, Inc. (Organizzazione). (s.d.). Wikipedia English: *Shaft-driven bicycle*. Estratto da http://en.wikipedia.org/wiki/Shaft-driven_bicycle (Inglese).
2. Nice, K. (Ingegnere). (s.d.). *Bevel gears*. Estratto da <http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/gear4.htm> (Inglese).
3. Radzevich, S. P. (Ingegnere). (2010). A new angle on cutting bevel gears. Da *Gear Cutting Tools: Fundamentals of Design and Computation*, CRC Press. Boca Raton, Florida: Gear Solutions. Estratto da http://www.gearsolutions.com/media/uploads/assets/PDF/Articles/Dec_10/1210_Eaton.pdf (Inglese).
4. Mohacek, B. (Cronista). (2001). *Part 2/1. Andre Citroen and his introduction to double chevron gears*. Estratto da <http://www.svvs.org/citroen2.shtml> (Inglese).
5. Palazzolo J. (Autore) (s.d.). *Hypoid vs. spiral bevel gear systems*. Estratto da <http://drivelinenews.com/tips/hypoid-v-spiral-bevel-gear-systems/> (Inglese).
6. Matt D., K., N. E., L., & R. L., R. (Ricercatori). (s.d.). *Bicycle chain efficiency*. Estratto da <http://web.archive.org/web/20060206210227/http://www.hw.ac.uk/mecWWW/research/mdk/res.htm> (Inglese).
7. Sentís E. (Imprenditore). (s.d.). *Urbikes: Optimised bike sharing system*. Estratto da <http://www.worlddesigncapital.com/design-success-stories/urbikes/> (Inglese).
8. Sheldon, B. (Autore). (s.d.). *Chain maintenance*. Estratto da <http://sheldonbrown.com/chains.html> (Inglese).
9. Cooper Technica, Inc. (Azienda). (s. d.). *1899 columbia model 59 shaft drive bicycle by the mid-1890's*. Estratto da <http://www.coopertechnica.com/projects-other-vintage-bicycles-restorations.php> (Inglese).
10. Clear Channel. (Corporazione). (s.d.). *Bike sharing*. Estratto da <http://www.clearchannel.it/default.asp?sec=234>
11. Stella, A. (Cronista). (18 ottobre 2011). *Bike sharing, mancano 3 milioni «in crisi il piano di ampliamento»*. *Corriere della sera*. Estratto da http://milano.corriere.it/milano/notizie/cronaca/11_ottobre_18/crisi-bike-sharing-1901855723007.shtml
12. Arcade Cycles. (Azienda). (s.d.). *Arcade cycles, le spécialiste du vélo de ville et du vélo à cardan*. Estratto da <http://www.arcadecycles.fr> (Francese).
13. *Op. cit. Le vélo cardan*. Estratto da <http://www.arcadecycles.fr/Le-velo-cardan/> (Francese)
14. Dynamic Bicycles, Inc. (s.d.). *Contact us*. Estratto da <https://shop.dynamicbicycles.com/contactus.sc> (Inglese).
15. Sussex Enterprises Company, Ltd. (Sussidiaria). (s.d.). *Shaft drive system (SDS)*. Estratto da <http://www.sussex.com.tw/shaft-drive.html> (Inglese).
16. *Op. cit. Sample Bicycles Using Shaft Drive Transmission System* Estratto da <http://www.sussex.com.tw/sample-bikes.html> (Inglese).
17. Dynamic Bicycle, Inc. (Azienda). (s.d.). *What is a shaft drive?*. Estratto da <http://www.dynamicbicycles.com/chainless-technology/shaft-drive-bicycle.php> (Inglese).
18. *Op. cit. Shaft drive versus chain, technology comparison table*. Estratto da http://www.dynamicbicycles.com/chainless-technology/shaft_v_chain.php (Inglese).
19. Brown, S. (Autore). (s.d.). *Sheldon Brown's bicycle glossary sa-so*. Estratto da http://sheldonbrown.com/gloss_sa-o.html (Inglese).
20. Zach, O. (Blogger). (2013, Febbraio 19). *Bikerumor Shimano chainwear challenge: The results*. Estratto da <http://www.bikerumor.com/2013/02/19/bikerumor-shimano-chainwear-challenge-the-results/> (Inglese).
21. Michael, G. (Autore). (1999, Ottobre). *Fendt cardano fahrräder - ein nobelobel ?*. Estratto da http://www.fahrradsammler.de/index.php?article_id=17 (Tedesco).
22. Stillman, W. (Inventore). (1891). US patent number: 456387. Da Google Inc. Estratto da <http://www.google.com/patents?id=XxVSAAAABAJ> (Inglese).
23. Allproducts.com. (Sito web). *Shaft drive transmission system w/o rear hub*. Estratto da <http://www.allproducts.com/tbea/worldscape/sdts.html> (Inglese).
24. Embacher, M. (Autore). (s.d.). *Worldscape Co. ltd. Aitelen Chainless*. Estratto da <http://www.embacher-collection.at/radseiten/10-56-WORLDSCAPECOLTD-AitelenChainless-en.html> (Inglese).
25. Bolton, O. (Inventore). (1895). US patent number: 552271. Da Google Inc. Estratto da <http://www.google.com/patents/US552271> (Inglese).
26. Harley-Davidson. (Azienda). (s.d.). *Harley-Davidson Timeline 1900*. Estratto da http://www.harley-davidson.com/en_US/Content/Pages/HD_Museum/explore/hd-history/1900.html (Inglese).

27. Goodman, J. D. (Cronista). (2010, Febbraio 2). An electric boost for bicyclists. *The New York Times*. Estratto da http://www.nytimes.com/2010/02/01/business/global/01ebike.html?_r=0 (Inglese).
28. Electricbike.com. (Sito web). *Electric bicycles, scooters causing confusion on roads*. Estratto da <http://www.electricbike.com/electric-bicycles-scooters-causing-confusion-on-roads/> (Inglese).
29. Online Etymology Dictionary. (Dizionario). *moped (n.)*. Estratto da <http://www.etymonline.com/index.php?search=moped&searchmode=none> (Inglese).
30. Coldewey, D. (Cronista). (2009, Aprile 30). *Power-on-demand electric bike actually looks really nice*. Estratto da <http://techcrunch.com/2009/04/30/power-on-demand-electric-bike-actually-looks-really-nice/> (Inglese).
31. Comité Européen De Normalisation, CEN. (Organizzazione). (2009). Cycles. electrically power assisted cycles. Da *European standard. French standard NF EN 15194*. Estratto da http://www.vae-enov.com/fiches_2010/norme_en_15194.pdf, pag. 6 (Inglese).
32. Schweda, S. (Cronista). (2012, Agosto 29). *Was sie über den versicherungsschutz von pedelecs wissen sollten*. Estratto da <http://www.gdv.de/2012/08/was-sie-ueber-den-versicherungsschutz-von-pedelecs-wissen-sollten/> (Tedesco)
33. EBikeIt. (Azienda). (2012, Agosto). Ebikeit e90 owners manual. Estratto da <http://sydneybikes.com/wp-content/uploads/2013/05/E90OwnersManual.pdf> (Inglese).
34. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI. (Organizzazione). (2011, Novembre 30). *Norma CEN*. Estratto da http://store.uni.com/magento-1.4.0.1/index.php/norme/root-categorie/43/43-150/en-15194-2009-a1-2011.html?josso_back_to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso_cmd=login_optional&josso_partnerapp_host=store.uni.com (Inglese).
35. GoPedelec.eu. (Organizzazione). (s.d.). *Basic infos on pedelecs*. Estratto da http://www.gopedelec.eu/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=86&Itemid=58 (Inglese).
36. VicRoads. (Sito web). (s.d.). *Power assisted bicycles*. Estratto da <http://www.vicroads.vic.gov.au/Home/SafetyAndRules/SaferRiders/BikeRiders/PowerAssistedBicycles.htm> (Inglese).
37. Weinert, J. X., Ma, C., Yang, X., & Cherry, C. (Ricercatori). (2008). Electric two-wheelers in china. L. Schiff (Ed.), Institute of Transportation Studies. Estratto da <http://econpapers.repec.org/paper/cdlitsdav/qt39g0c270.html> pubs.its.ucdavis.edu/download_pdf.php?id=1155 (Inglese).
38. Great Britain Department for Transport. (2005, Ottobre). *Electrically assisted pedal cycles in great britain*. Estratto da <http://www.electricbikesexperts.co.uk/support-files/department-for-transport-eapc-guidelines.pdf> (Inglese).
39. 107th Congress. United States Government. (2002). *Public law 107-319—dec. 4, 2002*. Estratto da website: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-107publ319/pdf/PLAW-107publ319.pdf> (Inglese).
40. Aseako. (Azienda). (s.d.). *Aseako central drive system vs hub motor*. Estratto da <http://www.aseakoelectricbike.com.au/central-drive-system/> (Inglese).
41. BionX International. (Azienda). (s.d.). *Bionx. proficient partner for bike manufacturers*. Estratto da <http://www.bionxinternational.com/en/products/bike-individual-solutions/> (Inglese).
42. Daimler AG. (Corporazione). (s.d.). *La smart electric bike*. Estratto da <http://it.smart.com/prodotti-ebike/12bfd2a1-2244-566e-ac98-c890cbee8d09>
43. BioniX International. (Azienda). (s.d.). *Power series*. Estratto da <http://www.bionxinternational.com/en/products/bike-retrofit-systems/power-series/> (Inglese).
44. Boeriu, H. (Blogger). (2012, Giugno 13). *Premiere: Bmw i pedelec concept*. Estratto da <http://www.bmwblog.com/2012/06/13/premiere-bmw-i-pedelec-concept/> (Inglese).
45. Smith, M. (Blogger). (2012, Giugno 18). *Bmw's i pedelec hitches lift (and top-up) from plug-in i3 electric car*. Estratto da <http://www.engadget.com/2012/06/18/bmw-i-pedelec-i3-electric-car/>
46. Robert Bosch GmbH. (Corporazione). (s.d.). *The Bosch eBike System*. Estratto da http://www.bosch-ebike.de/en/products/ebike_system/the_ebike_system.html (Inglese).
47. *Op. cit. S-Pedelecs*. Estratto da http://www.bosch-ebike.de/en/products/brands_products/s_pedelecs/s-pedelecs.html (Inglese).
48. TQ Group. (Corporazione). (s.d.). *Clean mobile drive technology for e-bikes*. Estratto da <http://www.tq-group.com/en/products/industry-pcs/prod/clean-mobile-antriebstechnik-fuer-e-bikes/extb/Main/> (Inglese).
49. Electricbike.com. (Sito web). (s.d.). *KTM Egnition*. Estratto da <http://www.electricbike.com/ktm-egnition/> (Inglese).
50. Cosimi, S. (Cronista). (2012, Maggio 18). Audi, la ebike del futuro fila a 80 km/h. *Wired Italia*. Estratto da <http://life.wired.it/news/mobilita/2012/05/18/audi-la-e-bike-del-futuro-fila-a-80-km-h.html>
51. Giant Corporation. (Corporazione). (s.d.). *Motore syncdrive*.



- Estratto da <http://www.giant-bicycles.com/it-it/technology/explanation/syncdrive/59/100/?modal=true&width=530&height=460>
52. Electricbike.com. (Sito web). (s.d.). *Focus Jarifa electric bike with Panasonic Mid Drive review*. Estratto da <http://www.electricbike.com/focus-jarifa/> (Inglese).
 53. Panasonic Corporation. (Corporazione). (s.d.). *PANA eBike*. Estratto da <http://panaebike.com.au> (Inglese).
 54. Specialized Bicycle Components, Inc. (Azienda). (s.d.). *Turbo S*. Estratto da <http://www.specialized.com/us/en/bikes/multi-use/turbo/turbos> (Inglese).
 55. Stewart, B. (Cronista). (2013, Giugno 13). *Specialized Turbo electric-assist bicycle test ride*. Estratto da <http://www.popularmechanics.com/outdoors/sports/technology/specialized-turbo-electric-assist-bicycle-test-ride-15587488> (Inglese).
 56. Specialized Bicycle Components, Inc. (Azienda). (2012, Luglio). *Owner's Manual Turbo S*. Estratto da http://turbo.specialized.com/media/assets/locale/en_us/en-turbo-manual.pdf (Inglese).
 57. Electricbike.com. (Sito web). (s.d.). *Specialized Turbo eBike review*. Estratto da http://www.electricbike.com/specialized_turbo/ (Inglese).
 58. The Economist. (Giornale). (2010, Maggio 13). *China's electric-bicycle boom. Pedals of fire*. Estratto da <http://www.economist.com/node/16117106> (Inglese).
 59. Suzhou Bafang Electric Motor Science-Technology Co., LTD. (Corporazione). (s.d.). *8Fun Europe. Motors presentation*. Estratto da http://www.8fun-motor.com/index.php?option=com_content&view=article&id=78 (Inglese).
 60. Navigant Research. (Sito web). (2012). *Pike pulse report: Electric bicycles*. Estratto da <http://www.navigantresearch.com/research/pike-pulse-report-electric-bicycles> (Inglese).
 61. Suzhou Bafang Electric Motor Science-Technology Co., LTD. (Corporazione). (s.d.). *8Fun. Product e-Bike kit*. Estratto da <http://szbaf.com/product.asp?page=1&pid=1&cid=0&keywords=> (Inglese).
 62. *Op. cit. The Evolution + Conversion kit*. Estratto da: http://www.8fun-motor.com/index.php?option=com_content&view=article&id=80. (Inglese).
 63. NYCEWheels.com. (Sito web). (s.d.). *Pedelec electric bikes*. Estratto da <http://www.nycewheels.com/bike-info.html> (Inglese).
 64. Giant Corporation. (Corporazione). (s.d.). *Twist freedom 0 LDS (2013)*. Estratto da <http://www.giant-bicycles.com/en-in/bikes/model/twist.freedom.0.lds/11649/56342/> (Inglese).
 65. Yamaha Motor Co. (Corporazione). (2013). *PAS 20th anniversary*. Estratto da <http://global.yamaha-motor.com/business/e-bike-systems/pas/> (Inglese).
 66. Hong Kong Trade Development Council, HKTDC. (Organizzazione). (2011, Luglio 8). *Japan's pedal power*. Estratto da <http://economists-pick-research.hktdc.com/business-news/vp-article/en/1/1X07IIRR.htm> (Inglese).
 67. Dahon North America, Inc. (Azienda). (s.d.). *Dahon frames. Embed Bottom Bracket. 2000*. Estratto da <http://dahon.com/mainnav/dahon-folding-bike-technology/dahon-folding-bike-frames.html> (Inglese).
 68. E-Cruiser Bikes. (Azienda). (s.d.). *Protanium shaft drive*. Estratto da <http://ecruiserbikes.com/our-bikes/shaft-drive/> (Inglese).
 69. Protanium.com. (Azienda). (s.d.). *Protanium. Product news. Kardan-motor*. Estratto da <http://www.protanium.com/4.html> (Inglese).
 70. Markus, F. (Ingegnere). (2006, Settembre 2). *The NuVinci code*. Estratto da <http://www.fallbrooktech.com/sites/default/files/videos/MTRP-060900-TECH.pdf> (Inglese).
 71. Shelley, T. (Cronista). (2003, Agosto 13). *Variators improved with power*. Estratto da <http://www.eurekamagazine.co.uk/design-engineering-features/technology/variators-improved-with-power/2307/> (Inglese).
 72. Fallbrook Technologies Inc. (Corporazione). (s.d.). *Nuvinci@ technology*. Estratto da <http://www.fallbrooktech.com/nuvinci-technology> (Inglese).
 73. *Op. cit. How it works*.
 74. SpringerReference.com. (Sito web). (s.d.). *Elastohydrodynamic lubrication (EHL)*. Estratto da <http://www.springerreference.com/docs/html/chapterdbid/309696.html> (Inglese).
 75. Wedeven, V. (Imprenditore). (2011, Novembre). *Elastohydrodynamic lubrication fundamentals*. Wind turbine tribology seminar, Edgmont, Pennsylvania. Estratto da http://www.nrel.gov/wind/pdfs/day1_session1_1_wedevenassociates_wedeven.pdf (Inglese).
 76. Coxworth, B. (Editore). (2010, Settembre 1). *Smaller, lighter NuVinci bicycle transmission revealed*. Estratto da <http://www.gizmag.com/nuvinci-releases-n360-transmission/16213/> (Inglese).
 77. Rohloff AG. (Azienda). (s.d.). *History of the Rohloff AG*. Estratto da http://www.rohloff.de/en/company/rohloff_ag/company_history/ (Inglese).
 78. Electricbike.com. (Sito web). (s.d.). *A Rohloff on an electric bike*. Estratto da <http://www.electricbike.com/a-rohloff-on-an-electric-bike/> (Inglese).

79. Rohloff, B., & R. M. (Autori). (2010). *Rohloff Stories*. Rohloff AG. ISBN 978-3-00-031899-3. Da Wikimedia Foundation, Inc., *Wikipedia English: Rohloff*. Estratto da: <http://en.wikipedia.org/wiki/Rohloff> (Inglese).
80. Rohloff AG. (Azienda) (s.d.). *Speedhub 500/14*. Estratto da <http://www.rohloff.de/en/products/speedhub/index.html> (Inglese).
81. Brown, S. (Autore). (s.d.). *Rohloff Speedhub 14-speed internal-gear hubs*. Estratto da <http://sheldonbrown.com/harris/rohloff.html> (Inglese).
82. Shimano Inc. (Corporazione). *Company history*. Estratto da http://www.shimano.com/publish/content/global_corp/en/us/index/about_shimano/timeline.html (Inglese).
83. *Op. cit. Key events in Shimano history*. Estratto da http://www.shimano.com/publish/content/global_corp/en/us/index/financial_information/fact_sheet.download.-mainParsys-0044-downloadFile.html/2011-2Q_FactSheet_GB.pdf
84. Brown, S. (Autore). (s.d.). *Shimano 3-speed hubs*. Estratto da <http://sheldonbrown.com/shimano333.html> (Inglese).
85. National Bicycle Dealers Association, NBDA. (Associazione). (2012). *A look at the bicycle industry's vital statistics*. Estratto da <http://nbda.com/articles/industry-overview-2008-pg34.htm> (Inglese).
86. Wikimedia Foundation, Inc. (Organizzazione). *Wikipedia English: Shimano Nexus*. Estratto da: http://en.wikipedia.org/wiki/Shimano_Nexus (Inglese).
87. Costley-White, J. (Cronista). (2010, Febbero 8). *First look: Shimano Alfine 11-speed hub gear*. Estratto da <http://www.bikeradar.com/news/article/first-look-shimano-alfine-11-speed-hub-gear-24930/> (Inglese).
88. Shimano Inc. (Corporazione). *Nexus*. Estratto da http://www.shimano.com/publish/content/global_cycle/en/us/index/products/0/nexus.html# (Inglese).
89. Hands On Bike. (Blog Internet) (2013, Aprile 14). *Journey of the boardwalk: Part 29 - Alfine Di2 Digital gear display*. Estratto da <http://handsonbike.blogspot.it/2013/04/journey-of-boardwalk-part-29-alfine-di2.html> (Inglese).
90. Brown, S. (Autore). (s.d.). *Shimano Nexus/Alfine 3, 4, 7, 8, 11 Speed hub technical information*. Estratto da <http://sheldonbrown.com/nexus-mech.html> (Inglese).
91. ICLEI. (Organizzazione). *ICLEI ecoMobility*. Estratto da <http://www.ecomobility.org/alliance/members/businesses/> (Inglese).
92. *Op. cit. What is ecomobility alliance?*. Estratto da <http://www.ecomobility.org/alliance/members/businesses/> (Inglese).
93. FIA Foundation. (Organizzazione). (2007, Dicembre 10). *Global alliance for ecoMobility launched at UN climate conference*. Estratto da <http://www.fiafoundation.org/news/archive/2007/Pages> (Inglese).
94. Arthur, D. (Cronista). (2011, Settembre 15). *SRAM Grip Shift is back from the past*. Estratto da <http://bikemagic.com/gear/first-looks/sram-grip-shift-is-back-from-the-past.html>. (Inglese).
95. FundingUniverse.com. (Sito web). *SRAM Corporation history*. Estratto da <http://www.fundinguniverse.com/company-histories/sram-corporation-history/>. (Inglese).
96. Armstrong, D. (Cronista). (2001, Maggio 3). *A Stick in the spokes. Forbes*. Estratto da <http://www.forbes.com/forbes/2001/0305/148.html>. (Inglese).
97. ZF Friedrichshafen. (Corporazione). *Sachs – expertise since 1895*. Estratto da http://www.zf.com/corporate/en/company/tradition/company_history/zf_sachs_history/zf_sachs_history.html. (Inglese).
98. Huang, J. (Cronista). (2012, Maggio 5). *Video: Sram european headquarters tour*. Estratto da <http://www.bikeradar.com/gear/article/video-sram-european-headquarters-tour-33710/>. (Inglese).
99. SRAM. (Azienda). *Torpedo | SRAM Urban*. Estratto da <http://www.sram.com/sram/urban/family/torpedo>. (Inglese).
100. Tweney, D. (2009, Agosto 17). *Hands-on with the Sram torpedo hub. Wired*. Estratto da <http://www.wired.com/gadgetlab/2009/08/sram-torpedo/>. (Inglese).
101. SRAM. (Azienda). *i-3 Coaster Brake*. Estratto da <http://www.sram.com/sram/urban/products/i-3-coaster-brake>. (Inglese).
102. SRAM. (Azienda). *AUTOMATIX | SRAM Urban*. Estratto da <http://www.sram.com/sram/urban/family/automatix>. (Inglese).
103. Beckendorff, J. (Cronista). (2013, Febbraio 27). *Sram: "G8"-serienproduktion startet durch*. Estratto da <http://www.radmarkt.de/nachrichten/sram-g8-serienproduktion-startet-durch>. (Tedesco).
104. Campagnolo S.r.l. (Società). *Geometria G3*. Estratto da http://www.campagnolo.com/jsp/it/tech/id_1.jsp
105. Wikimedia Foundation, Inc. (Organizzazione). *Wikipedia English: Henry Sturmey (1857-1930)*. Estratto da [http://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Sturmey_\(1857-1930\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Sturmey_(1857-1930)). (Inglese).
106. Sturmey-Archer Heritage. (Divisione). *Product. Archive. 1901 - The original Patent no. 16,221*. Estratto da <http://sturmey-archerheritage.com/index.php?page=history-detail&id=583> (Inglese).
107. Brown, S. (Autore). *Sturmey-Archer bicycle hubs. SW*. Estratto da <http://sheldonbrown.com/sturmey-archer.html#sw> (Inglese).



108. Sturmey-Archer Heritage. (Sussidiaria). *1936 - Type AW 3-Speed wide ratio Hub*. Estratto da <http://sturmey-archerheritage.com/index.php?page=history-detail&id=47> (Inglese).
109. *Op. cit. 1936 - Type GH12 12 Volt 0.23 Amp, 2.7 Watt front Dynohub*. Estratto da <http://sturmey-archerheritage.com/index.php?page=history-detail&id=51> (Inglese).
110. Brown, S. (Autore). *Servicing English Three Speeds*. Estratto da <http://sheldonbrown.com/english-3.html> (Inglese).
111. Sutton, M. (2012, Luglio 2). *Sturmey Archer talks becoming "more accessible to enthusiasts"*. Estratto da <http://www.bikebiz.com/news/read/sturmey-archer-talks-becoming-more-accessible-to-enthusiasts/013295> (Inglese).
112. Sturmey Archer. (Sussidiaria). *Hubs. 8-Speed*. Estratto da <http://www.sturmey-archer.com/products/hubs.html> (Inglese).
113. The Boeing Company. (Corporazione). *Commercial airplanes. Boeing 707 family*. Estratto da <http://www.boeing.com/boeing/commercial/707family/index.page> (Inglese).
114. *Op. cit. (2009). Operational advantages of carbon brakes*. Estratto da http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_03_09/article_05_1.html (Inglese).
115. Virginia Polytechnic Institute and State University.(Istituzione). (2007). *AOE 747*. Estratto da http://www.dept.aoe.vt.edu/~mason/Mason_f/M96SC11.pdf (Inglese).
116. FlightGlobal Archive. (Archivio di Rivista). (1941, Agosto 14). *Aircraft gearbox*. Estratto da <http://www.flightglobal.com/pdfarchive/view/1941/1941 - 1824.html>. Da Wikimedia Foundation, Inc., Controllable Pitch Propeller. Estratto da: http://en.wikipedia.org/wiki/Controllable_pitch_propeller (Inglese).
117. "Quick thinker" Pilot's Trick Save Plane. (1932, Dicembre). *Popular Mechanics*, 58(6), 950-951. Estratto da http://books.google.it/books?id=fvEDAAAAMBAJ&pg=PA951&dq=popular+mechanics+1932+protecting+the+world's&hl=en&ei=u6EVTcKMOsiDngev593NDg&sa=X&oi=book_result&ct=result&redir_esc=y (Inglese).
118. Jihostroj a.s. (Azienda). *How it works*. Estratto da <http://www.propellergovernor.com/how-it-works/> (Inglese).
119. Goodpaster, K. (Professore). (2006, Marzo 14). *Advanced pilot programs*. Estratto da <http://www.flywestwind.com/wtc/pprograms/turboprops.htm> (Inglese).
120. The Boeing Company. (Corporazione). *Globemaster III. Overview*. Estratto da: <http://www.boeing.com/boeing/defense-space/military/c17/> (Inglese).
121. Jacobs Vehicle Systems. (Sussidiaria). *History*. Estratto da <http://www.jacobsvehiclesystems.com/spa/about-us/history/> (Inglese).
122. Cummins Inc. (Corporazione). *Company background*. Estratto da http://www.cummins.com/cmi/footerAction.do?url_path=/SiteContent/en/HTML/AboutCummins/ContactUs.html&breadcrumb=ContactUs (Inglese).
123. The American Society of Mechanical Engineers. (1985, Ottobre 17). *National Historic Mechanical Engineering Landmark. Jacobs® Engine Brake Retarder*. Estratto da <http://files.asme.org/ASMEORG/Communities/History/Landmarks/5577.pdf> (Inglese).
124. The Straight Dope. (2008, Aprile 12). *What are "Jake Brakes" and why are they prohibited in some locations?*. Estratto da <http://www.straightdope.com/columns/read/1501/what-are-jake-brakes-and-why-are-they-prohibited-in-some-locations> (Inglese).
125. Wikimedia Foundation, Inc. (Organizzazione). *Wikipedia English: Compression Ratio, Diesel Engine*. Estratto da http://en.wikipedia.org/wiki/Compression_ratio#Diesel_engine (Inglese).
126. How Stuff Works. (Sito web). *How engine brakes work*. Estratto da <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/engine-brakes.htm> (Inglese).
127. Today I Found Out. (Sito web). (2011, Ottobre 7). *How Jake Brakes work*. Estratto da <http://www.todayifoundout.com/index.php/2011/10/how-jake-brakes-work/> (Inglese).
128. Washington State Legislature. (Legge statunitense). *RCW46.37.395. Compression brakes (Jake brakes)*. Estratto da <http://apps.leg.wa.gov/rcw/default.aspx?cite=46.37.395> (Inglese).
129. Townsman, M. (Stato di Maine). (2008, Novembre). *Jake Brake Issues*. Estratto da <http://www.maine.gov/mdot/csd/mlrc/technical/ti/jakebrake.htm> (Inglese).
130. Light Rail Transit Association LRTA. (ONG). *The Regenerative Braking Story > Reviews*. Estratto da http://www.lрта.info/shop/product.php/610/42/rev/the_regenerative_braking_story (Inglese).
131. Mishra, A. (Ricercatore). (2011, Giugno 4). *Regenerative braking system*. *Scrib*. Estratto da <http://es.scribd.com/doc/52418364/REGENERATIVE-BRAKING-SYSTEM> (Inglese).
132. Raworth, A. (Inventore). (1907, Aprile). *Regenerative Control of Electric Trams And Locomotives*. pag. 374 - 386. *Electrical Engineers, Journal of the Institution of*, 38(182). Da [http://ieeexplore.ieee.org/iel5/5308791/5310011/05310015.pdf?arnumber=5310015](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?reload=true&tp=&arnumber=5310015&url=http://ieeexplore.ieee.org/iel5/5308791/5310011/05310015.pdf?arnumber=5310015) (Inglese).

133. Irlam, M. J. (Autore). (2010, Settembre). *ELECTRIC TRACTION. A Vital Development in the History of the Railway*. Estratto da <http://mikes.railhistory.railfan.net/r066.html> (Inglese).
134. RailwayGazette.com (Rivista online). (2007, Luglio 2). *Wayside and on-board storage can capture more regenerated energy*. Estratto da <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/wayside-and-on-board-storage-can-capture-more-regenerated-energy.html> (Inglese).
135. Grahame, J. (Editore). (2008, Settembre 22). *1968: AMC's Amazing Amitron Electric Car*. Estratto da <http://www.retrothing.com/2008/09/1968-amcs-amazi.html> (Inglese).
136. Formula One World Championship Limited. (Categoria Automobilistica della FIA). *Kinetic Energy Recovery Systems (KERS)*. Estratto da http://www.formula1.com/inside_f1/understanding_the_sport/8763.html (Inglese).
137. *Op. cit. Engines and KERS*. Da: http://www.formula1.com/inside_f1/rules_and_regulations/technical_regulations/8699/fia.html
138. Watkins, G. (Cronista). (2012, Febbraio 29.). Audi unveils Hybrid R18 e-tron quattro in Munich. *Autosport.com*. Estratto da <http://www.autosport.com/news/report.php/id/97739>
139. Just Another Car Guy, G. (Blogger). (2013, Marzo 18). LaFerrari KERS: From formula1 to production cars. *Autosport.com*. Estratto da <http://www.autosport.com/news/report.php/id/97739> (Inglese).
140. Torotrak plc. (Corporazione). *M-KERS*. Estratto da <http://www.autosport.com/news/report.php/id/97739> (Inglese).
141. EATON Corporation Inc. (Corporazione). *Hydraulic launch assist*. Estratto da <http://www.eaton.com/Eaton/ProductsServices/Hydraulics/HydraulicLaunchAssist/index.htm> (Inglese).
142. *Op. cit. Hybrid Applications*. Da: <http://www.eaton.com/Eaton/ProductsServices/HybridPower/Applications/index.htm> (Inglese).
143. Wiebusch, B. (Editore). (2002, Giugno 17). Hydraulic regenerative braking improves large-truck fuel economy. *DesignNews.com*. Estratto da http://www.designnews.com/document.asp?doc_id=214915&dfpPPParams=ind_182,aid_214915&dfpLayout=article (Inglese).
144. Thompson, J. (Analista). (2010, Gennaio 22). *Eaton launches hydraulic hybrid retrofit program for refuse trucks*. Estratto da <http://www.greencarcongress.com/2010/01/eaetonhla-20100122.html> (Inglese).
145. jcwinnie (Blogger). (2008, Ottobre 28). *UPS to use Hydraulic Hybrid Vehicles*. Estratto da <http://jcwinnie.biz/wordpress/?p=3661>
146. Rydberg, K. E. (Professore). (2009, Giugno). *Energy efficient hydraulic hybrid drives*. The 11:th Scandinavian International Conference On Fluid Power, SICFP'09, Department of Management and Engineering, Linköping University, Linköping, Sweden. Estratto da <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:373607/FULLTEXT01> (Inglese).
147. EPA. United States Environmental Protection Agency. (Agenzia Governamentale). *Hydraulic hybrid bicycle research*. Estratto da <http://www.epa.gov/otaq/technology/research/research-hhb.htm> (Inglese).
148. SENSEable Ciy Lab. (2009, Dicembre 15). *The Copenhagen Wheel Project*. Estratto da <http://senseable.mit.edu/copenhagenwheel/index.html>
149. James Dyson Foundation. (Organizzazione). (2012). *James Dyson Award. The Copenhagen Wheel Project*. Estratto da <http://senseable.mit.edu/copenhagenwheel/index.html> (Inglese).
150. behoovingmoving (Blogger). (2011, Giugno 10). *Behooving moving*. Estratto da <http://behoovingmoving.livejournal.com/>
151. Coxworth, B. (Editore). (2011, Agosto 16). Flywheel bicycle: KERS for pedal-pushers. *Gizmag.com*. Estratto da <http://www.gizmag.com/flywheel-bicycle-regenerative-braking/19532/> (Inglese).
152. ScienceFriday.com (Sito web). (2011, Agosto 12). *Boost your bike*. Estratto da <http://www.sciencefriday.com/video/08/12/2011/boost-your-bike.html>
153. Spinelli, M. (Cronista). (2011, Agosto 22). *Student uses Porsche flywheel to create boosted bike*. Estratto da <http://jalopnik.com/5833144/student-uses-porsche-flywheel-to-create-boosted-bike> (Inglese).
154. DueDea.com. (Sito web). (2012, Aprile 24). *The build of the kers bicycle*. Estratto da <http://duedea.com/video/-1FPcencU9I/Media-One-TV-live.php> [Contenuto audiovisivo] (Inglese).
-



PROVENIENZA DELLE IMMAGINE

1. Due coppie coniche: Shree Vishwakarma (Azienda). *Straight bevel gear* [Immagine web]. Estratto da <http://svewindia.com/Bevel%20Gears.htm> [Consultato il 12 giugno 2013].
2. Coppia conica normale. Nice K. (Ingegnere). *Bevel Gears* [Immagine web]. Estratto da <http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/gear4.htm> [Consultato il 12 giugno 2013].
3. Coppia conica a spirale: Arrow Gear Company (Azienda). *Spiral gear set* [Immagine web]. Estratto da http://www.arrowgear.com/photo_gallery/photo_gallery.html [Consultato il 12 giugno 2013].
4. Corona di coppia conica Zerol: Camco Engineering (Azienda). *Products & Services* [Immagine web]. Estratto da <http://www.helitecwa.com.au/products.html> [Consultato il 12 giugno 2013].
5. Coppia ipoide: Dr. Lunin S. V. (Ingegnere). (19 Aprile 2005). *How to reduce cost of an automotive drive axle ring gear for 50%* [Immagine web]. Estratto da http://www.zakgear.com/Hypoid_worm.html [Consultato il 12 giugno 2013].
6. Sezione di una trasmissione cardanica: *Immagine propria*.
7. Bicicletta Columbia Mod. 59.: Cooper Technica, Inc. (Azienda). *1899 Columbia Model 59 Shaft Drive Bicycle* [Immagine web]. Estratto da <http://www.coopertechnica.com/projects-other-vintage-bicycles-restorations.php> [Consultato il 17 giugno 2013].
8. Stazione di BikeMi (Piazza Diaz, Milano): Wikimedia Commons (Organizzazione). *BikeMi bike sharing station in Piazza Diaz, Milan/Italy* [Immagine web]. Estratto da http://en.wikipedia.org/wiki/File:Citybike_station_bikeMi_Milan_Italy_20101230.JPG [Consultato il 14 giugno 2013].
9. Bicicletta Arcade Cycles: Arcade Cycles (Società). *Backstreet 7.28* [Immagine web]. Estratto da <http://www.arcadecycles.eu/Shaft-drive-urban-bicycle/velo-backstreet-728.html> [Consultato il 17 giugno 2013].
10. Sussex SDS: Singletrack World (Rivista). *Bike Forum: Direct Drive System? A chain free world!* [Immagine web]. Estratto da <http://singletrackworld.com/forum/topic/direct-drive-system-a-chain-free-world> [Consultato il 17 giugno 2013].
11. Movimento centrale Dynamic: Dynamic Bicycles (Azienda). *Chainless Bike - Shaft Drive Technology* [Immagine web]. Estratto da <http://www.dynamicbicyclesuk.co.uk/shafttechnology> [Consultato il 17 giugno 2013].
12. Pubblicità di FENDT: fahrradsammler.de (Sito web). *Fendt Cardano Fahrräder - ein Nobelhobel?* [Immagine web]. Estratto da http://www.fahrradsammler.de/index.php?article_id=17 [Consultato il 16 giugno 2013].
13. Worldscape Co. Ltd. Aitelen Chainless: Embracher M. (Autore). *Worldscape Co. Ltd. Aitelen Chainless* [Immagine web]. Estratto da <http://www.embacher-collection.at/radseiten/10-56-WORLDSCAPECOLTD-AitelenChainless-en.html> [Consultato il 14 giugno 2013].
14. SDTS di Worldscape: *Ibid*.
15. Pedelec in Germania: Schweda S. (Articolista). (29 Agosto 2012). *Die Deutschen Versicherer Elektrofahrräder, Was Sie über den Versicherungsschutz von Pedelecs wissen sollten*. Estratto da: <http://www.gdv.de/2012/08/was-sie-ueber-den-versicherungsschutz-von-pedelecs-wissen-sollten> [Consultato il 20 giugno 2013].
16. Riduttore Aseako: Aseako Electric Bike (Azienda). *ASEAKO Patented reducer* [Immagine web]. Estratto da <http://www.aseakoelectricbike.com.au/products-page/spare-parts/aseako-patented-reducer> [Consultato il 4 luglio].
17. Motore Aseako: Aseako Electric Bike (Azienda). *ASEAKO 200W brushless motor* [Immagine web]. Estratto da <http://www.aseakoelectricbike.com.au/products-page/spare-parts/aseako-patented-reducer> [Consultato il 4 luglio].
18. Motore elettrico BionX: Bionx International (Azienda). *SL Motors* [Immagine web]. Estratto da <http://www.bionxinternational.com/en/products/bike-retrofit-systems-2012/motors> [Consultato il 20 giugno].
19. Bicicletta iPedelec: iConcept di BMW. BMW (Azienda). *Premiere: BMW i Pedelec Concept* [Immagine web]. Estratto da <http://www.bmwblog.com/2012/06/13/premiere-bmw-i-pedelec-concept> [Consultato il 22 giugno 2013].
20. BMW iPedelec: *Ibid*.
21. Kit eBike System da Bosch: Electronic Components Group ECG Magazine (Rivista). *Bosch receives award as automotive supplier* [Immagine web]. Estratto da <http://www.ecnmag.com/blogs/2011/06/bosch-receives-award-automotive-supplier> [Consultato il 22 giugno 2013].
22. Motore Clean Mobile: TG Group (Corporazione). *Clean Mobile Antriebstechnik für E-Bikes* [Immagine web]. Estratto da <http://www.tg-group.com/produkte/produktdetail/prod/clean-mobile-antriebstechnik-fuer-e-bikes/extb/Main/productdetail>.

- [Consultato il 14 giugno 2013]
23. Audi eBike: FIngas J. E. (Editore). (11 Maggio 2012). *Audi e-bike Wörthersee lets you pop wheelies eco-style, plays nice with your smartphone*. Estratto da <http://www.engadget.com/2012/05/11/audi-e-bike-worthersee-lets-you-pop-wheelies-use-smartphone> [Consultato il 28 giugno 2013]
 24. Giant Twist Lite (Hybrid): Giant España (Corporazione). *Twist Lite Single LDS*. [Immagine web]. Estratto da <http://www.giant-bicycles.com/es-es/bikes/model/twist.lite.single.lids/12699/65335> [Consultato il 24 giugno 2013]
 25. Trasmissione Panasonic: Gitane. (Azienda). *E-Bike – Real e-bike white. Unisex* [Immagine web]. Estratto da <http://www.gitane.com/real-e-bike-mixte-en-detail-1-94.html> [Consultato il 28 giugno 2013]
 26. Specialized Turbo: Stewart, B. (Cronista). (13 Giugno 2013). Popular Mechanics. [Immagine web] *Specialized Turbo Electric-Assist Bicycle Test Ride*. Estratto da <http://www.popularmechanics.com/outdoors/sports/technology/specialized-turbo-electric-assist-bicycle-test-ride-15587488> [Consultato il 24 giugno 2013]
 27. Motore posteriore Specialized: *Ibid.*
 28. Batteria della Turbo: *Ibid.*
 29. 8Fun BPM: 8Fun Europe (Sussidiaria). *The Evolution + Conversion kit* [Immagine web]. Estratto da http://www.8fun-motor.com/index.php?option=com_content&view=article&id=80 [Consultato il 29 giugno 2013]
 30. Kit Evolution: *Ibid.*
 31. Kit Evolution: *Ibid.*
 32. Motore Yamaha: E Bike-Base, Der Elektrofahrrad-Einkaufsführer. (Sito web). *Giant – neue Hybridbikes ab Sommer* [Immagine web]. Estratto da <http://ebike-base.de/news/giant-neue-hybridbikes-ab-sommer.html> [Consultato il 4 luglio 2013]
 33. Yamaha PAS Brace-L Special (2009): MBike (Sito web). *2009 Yamaha PAS Brace-L Special* [Immagine web]. Estratto da <http://www.mbike.com/yamaha/pas-brace-l-special/2009/photos/photo-14206> [Consultato il 29 giugno 2013]
 34. Relazione tra gli 3 assi di movimento: *Modificata a partire di: Do The Right Thing (Organizzazione)*. (Agosto 2010). *Cycle Hire Schemes* [Immagine web]. Estratto da <http://karlmccracken.sweat365.com/2010/08/02/cycle-hire-schemes> [Consultato il 3 luglio 2013]
 35. Vista schematica del funzionamento del sistema NuVinci: Fallbrook Technologies (Corporazione). *NuVinci® Technology* *How it works* [Immagine web]. Estratto da <http://www.fallbrooktech.com/nuvinci-technology> [Consultato il 6 luglio 2013]
 36. Cambio di rapporto tra l'ingresso e l'uscita: Fallbrook Technologies (Corporazione). *NuVinci® Overview* [Immagine web]. Estratto da <http://www.nuvinci.com/NuVinci.asp> [Consultato il 6 luglio 2013]
 37. Taglio in sezione di un mozzo NuVinci: Liberles J. (Blogger). *Cyclocross Magazine > Sea Otter Expo Cyclocross Products – Kore crankset, Cobalt stem, Fizik seatpost, Nuvinci N360 hub, Cycle Soles, Salsa Ti* [Immagine web]. Estratto da <http://www.cxmagazine.com/sea-otter-expo-cyclocross-products--kore-crankset-cobalt-fizik-seatpost-nuvinci-cycle-soles-salsa> [Consultato il 6 luglio 2013]
 38. SpeedHub 500/14 e trasmissione a catena Rohloff: Bikemontt (Foro Internet). *Lo mejor en cambios* [Immagine web]. Estratto da <http://www.bikemontt.com/foro/topic/5191-lo-mejor-en-cambios> [Consultato il 4 luglio 2013]
 39. Taglio in sezione del SpeedHub 500/14. Cycling About (Sito web). (4 Dicembre 2011). *15 Reasons to Tour with a Rohloff Hub* [Immagine web]. Estratto da <http://cyclingabout.com/index.php/2011/12/15-reasons-to-tour-with-a-rohloff-hub> [Consultato il 4 luglio 2013]
 40. Mozzo Shimano Nexus Inter-3 con freno a disco: Shimano, North America (Corporazione). *Products> Pavement> Nexus> 3-Speed Internal Hubs> SG-3D55* [Immagine web]. Estratto da http://www.shimano.com/publish/content/global_cycle/en/us/index/products/0/nexus/product.-code-SG-3D55.-type-.html [Consultato il 7 luglio 2013]
 41. Schermo per Alfine Di2: Bernstein, A. J. (Cronista). *Shimano Reveals Details on 2013 Road Components* [Immagine web]. Estratto da <http://www.bicycling.com/bikes-gear/bikes-and-gear-features/shimano-reveals-details-2013-road-components> [Consultato il 7 luglio 2013]
 42. SRAM G8: Gathmann J. (Cronista). (21 Giugno 2012). *Radtouren Magazin.SRAM G8: die neue 8-Gang-Nabe* [Immagine web]. Estratto da <http://radtouren-magazin.com/1865/allgemein/sram-g8-die-neue-8-gang-nabe> [Consultato il 7 luglio 2013].
 43. Mozzo Sturmey-Archer AW: Sturmey Archer (Sussidiaria). *Sturmey-Archer Heritage - Product Archive* [Immagine web] *1936 - Type AW 3-speed wide ratio hub*. Estratto da <http://www.sturmey-archerheritage.com/index.php?page=historydetail&id=47> [Consultato il 7 luglio 2013]



44. Sun Race Sturmey Archer SX3: Sturmey Archer (Sussidiaria). *Hubs> 3 Speed> SX3* [Immagine web]. Estratto da <http://www.sturmey-archer.com/products/hubs/cid/3/id/47.html> [Consultato il 7 luglio 2013]
45. Inversore di spinta aperto: Airteam Images. (Sito web). *Aviation Image Library* [Immagine web]. Estratto da http://www.airteamimages.com/cessna-citation-excel_OO-SAV_flying-group_17816.html [Consultato il 7 luglio di 2013]
46. Disegno di spinta invertita: Vander M., B. (Blogger). Engine History (Organizzazione). Vickers VC10 Engine Installation [Immagine web] Thrust Reversers. Estratto da <http://www.enginehistory.org/Installations/VC10/VC10Ins.shtml> [Consultato il 25 luglio 2013]
47. Boeing 367-80 "Dash 80": Parker B., D. (Autore). (5 Agosto 2011). *Airline Reporter, Photo From First Boeing 707 During Tex Johnston's Legendary Barrel Roll* [Immagine web]. Estratto da <http://www.airlinereporter.com/2011/08/photo-from-first-boeing-707-during-barrel-roll> [Consultato il 7 luglio 2013]
48. EADS/Airbus Military 400M Atlas: Flightstory. (Sito web). *Photo – Airbus Military A400M Water Ingestion Tests* [Immagine web]. Estratto da <http://www.flightstory.net/20111101/photo-airbus-military-a400m-water-ingestion-tests> [Consultato il 12 luglio 2013]
49. Interruttore di un freno motore Jacobs: Today I Found Out. (Organizzazione). *How Jake Brakes Work* [Immagine web]. Estratto da <http://www.todayifoundout.com/index.php/2011/10/how-jake-brakes-work> [Consultato il 12 luglio 2013]
50. KERS Flybrid sviluppato per F1: Flybrid Automotive Limited (Sussidiaria). *Original F1 System* [Immagine web]. Estratto da <http://www.flybridsystems.com/F1System.html> [Consultato il 15 luglio 2013]
51. Modulo M-KERS di Torotrak in un banco di prova: Torotrak PLC. (Corporazione). *Products>M-KERS* [Immagine web]. Estratto da <http://www.torotrak.com/products-partners/products/m-kers> [Consultato il 15 luglio 2013]
52. Schema di funzionamento di un HLA installato su un camion per i rifiuti Peterbilt 320: Jcwinnie (Blogger). (28 Ottobre 2010). *UPS to use Hydraulic Hybrid Vehicles* [Immagine web]. Estratto da <http://jcwinnie.biz/wordpress/?p=3661> [Consultato il 15 luglio 2013]
53. Peterbilt 320, con trasmissione dotata di un HLA da Eaton: WorldCarsList. (Sito web). *CarsList >Peterbilt > 320 > #04* [Immagine web]. Estratto da <http://worldcarslist.com/photo/peterbilt-320/04/default.html> [Consultato il 15 luglio 2013].
54. Ruota anteriore del sistema RBLA: United States Environmental Protection Agency EPA. (Organizzazione). *Clean Automotive Technology, Hydraulic Hybrid Bicycle Research* [Immagine web]. Estratto da <http://www.epa.gov/otaq/technology/research/research-hhb.htm> [Adattato da contenuto audiovisivo pubblicato su Youtube]: http://youtu.be/o_19jOV8UW0. [Consultato il 18 luglio 2013]
55. Visualizzazione all'interno del RBLA: *Ibid.*
56. Concept della Copenhagen Wheel: SENSEable City Lab for the Kobenhavns Kommune (Massachusetts Institute of Technology MIT) (Istituzione). *The Copenhagen Wheel*. [Immagine web]. Estratto da <http://senseable.mit.edu/copenhagenwheel/gallery.html> [Consultato il 17 luglio 2013]
57. Bicicletta e prototipo del KERS per biciclette: Coxworth B. (Editore). (16 Agosto 2011). *Gizmag, Flywheel Bicycle: KERS for pedal-pushers* [Immagine web]. Estratto da <http://www.gizmag.com/flywheel-bicycle-regenerative-braking/19532> [Consultato il 19 luglio].
58. Esploso del volano e la sua struttura: *Ibid.*