



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

## FLORE

# Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

### **Il caso di studio Scam Srl: studio di bielle componibili per motori endotermici**

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

*Original Citation:*

Il caso di studio Scam Srl: studio di bielle componibili per motori endotermici / G. CASCINI; F.S. FRILLICI; F. GALIMBERTI; F. ROTINI. - STAMPA. - (2007), pp. 137-146. [-]

*Availability:*

The webpage <https://hdl.handle.net/2158/258862> of the repository was last updated on

*Publisher:*

Franco Angeli

*Published version:*

DOI: -

*Terms of use:*

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

*Publisher copyright claim:*

La data sopra indicata si riferisce all'ultimo aggiornamento della scheda del Repository FloRe - The above-mentioned date refers to the last update of the record in the Institutional Repository FloRe

(Article begins on next page)

## 11. Il caso di studio “Scam Srl”: studio di bielle componibili per motori endotermici

di *Gaetano Cascini*<sup>\*</sup>, *Francesco Frillici*<sup>\*\*</sup>, *Federico Rotini*<sup>\*\*\*</sup>

### 11.1 Il caso di studio

Scam Srl, attiva nel settore *auto motive*, progetta e realizza componenti per motori ad alte prestazioni, specificatamente alberi distribuzione, alberi motore, bielle, coprendo l'intero *range* da piccoli motori 2 tempi a motori pluricilindrici 4 tempi.

Il livello tecnologico dei componenti realizzato è del tutto allineato con lo stato dell'arte del settore e l'azienda è alla continua ricerca di miglioramenti per la propria produzione.

---

\* Dottore di ricerca in Progetto e costruzione di macchine e ricercatore presso l'Università degli Studi di Firenze in Disegno e metodi dell'ingegneria industriale, Gaetano Cascini è certificato Triz Specialist (4° livello) da Matriz (International Triz Association). Co-fondatore e primo presidente dell'associazione italiana per l'Innovazione sistematica Apeiron, è attualmente presidente dell'European Triz Association e vice-chair del “Computer-Aided Innovation” workgroup (TC-5 Committee dell'Ifip - International Federation for Information Processing). E' autore di oltre 60 pubblicazioni fra riviste e conferenze nazionali e internazionali e di 7 brevetti (assegnatari Università di Firenze, Whirlpool Europe, Bracco Imaging, Logli srl).

\*\* Francesco Saverio Frillici è nato a Gualdo Tadino (Pg) l'11 agosto 1979. Si è laureato in Fisica presso l'Università di Perugia nel luglio del 2004 ed ha conseguendo il Master ProMeA (Progettazione Meccanica Avanzata) presso l'Università di Firenze. Attualmente è titolare di borsa di studio presso il Dipartimento di Meccanica e tecnologie industriali dell'Università di Firenze e si occupa dell'integrazione di tecniche di problem solving e sistemi CAE.

\*\*\* Federico Rotini è nato a Città di Castello (PG) il 9 luglio 1975 ed ha conseguito la Laurea in Ingegneria Meccanica presso l'Università degli Studi di Firenze nel luglio 2001. Attualmente in servizio al Dipartimento di Meccanica e tecnologie industriali dell'Università degli Studi di Firenze come ricercatore nel settore del Disegno e metodi dell'ingegneria industriale, si occupa di Progettazione sistematica e Ottimizzazione di prodotto.

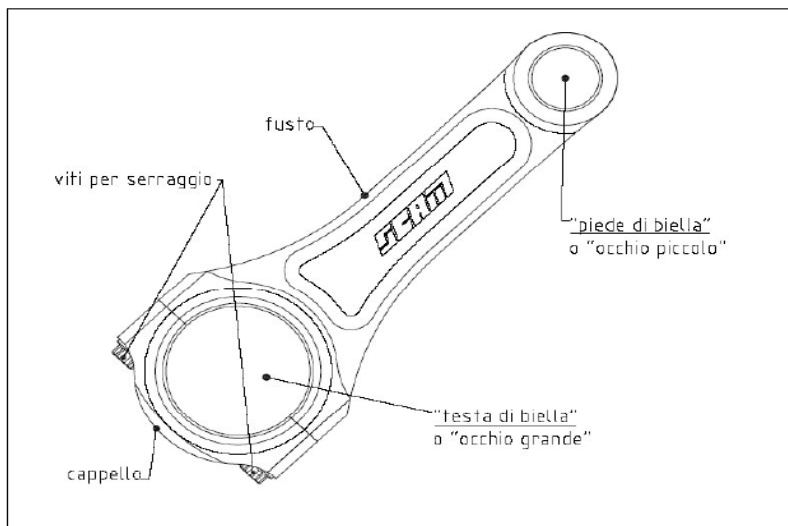


Fig. 11.1 - Biella componibile per motori endotermici

Una biella componibile per motori endotermici è composta da tre sottoinsiemi (come mostrato in figura 11.1): dal *fusto*, recante ad una estremità un foro chiamato *occhio piccolo*, dal *cappello*, che insieme al fusto forma l'*occhio grande*, e da *due viti* per il serraggio del cappello al fusto.

La biella ha la funzione di collegare rigidamente un organo meccanico dotato di moto rettilineo alterno (pistone) ad un altro organo meccanico dotato invece di un moto rotatorio (albero motore); le sollecitazioni a cui la biella è sottoposta sono affaticanti di tipo alternato, dovute alle forze di inerzia e alla pressione dei gas nella camera di combustione; anche le viti, nella loro disposizione tradizionale, sono sottoposte ad un carico affaticante alternato a valor medio non nullo (sempre in trazione) e sono state identificate come il punto più debole del sistema biella.

L'evoluzione tecnologica degli ultimi anni ha portato all'introduzione di nuovi materiali per le viti di serraggio della testa di biella, tali da garantire una minore fragilità rispetto al passato.

## 11.2 L'approccio TRIZ adottato

Essendo la biella un organo meccanico dal *design* consolidato nel tempo, l'attenzione dei progettisti si è per lo più concentrata sul ridimensionamento degli spessori al fine di minimizzare le masse in movimento, grazie all'introduzione di materiali con migliori caratteristiche meccaniche. Nel

complesso, tuttavia, il *layout* del sistema è rimasto sostanzialmente invariato e semmai sono stati introdotti accorgimenti atti a migliorare la qualità della fabbricazione o a ridurne i costi.

Il caso studio in esame presenta diverse peculiarità che richiedono un impiego personalizzato della metodologia. In primis è opportuno notare che in questo caso è di poco aiuto un'analisi funzionale del sistema al fine di evidenziare i Problemi elementari e le Contraddizioni che ivi sussistono.

Tipicamente la costruzione di un modello del sistema ha come obiettivo la realizzazione di un processo di astrazione dal caso specifico, tale da ricondursi ad un modello generale di problema a cui applicare gli strumenti TRIZ. Tale processo di astrazione può essere condotto anche evidenziando direttamente i parametri del sistema in conflitto fra loro. Tuttavia, essendo la biella un componente ad elevato grado di maturità, diverse barriere psicologiche si oppongono al suo cambiamento e risulta estremamente difficile “intuire” le contraddizioni presenti.





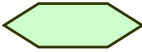
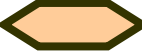



Per questi motivi si è deciso di modellare il sistema secondo una particolare tecnica di modellazione “causa-effetto”, più propriamente conosciuta come modellazione a eventi (*RelEvent Diagram*). In figura 11.2 si riportano i simboli impiegati nei diagrammi *RelEvent*.

Prima di procedere all'attività di modellazione vera e propria, si sono esplicitati vincoli e cambiamenti ammissibili del sistema, risorse disponibili, obiettivi da raggiungere e criteri per la valutazione delle soluzioni generate. Tali informazioni sono state raccolte in maniera sistematica, seguendo la traccia di un questionario standardizzato.

Quindi, una volta costruito il modello, si sono analizzate individualmente le scelte progettuali elementari, evidenziando le eventuali conflittualità presenti, ed applicando conseguentemente i principi solutivi più idonei. Analogamente si sono analizzati gli “eventi” indesiderati, interrogandosi sulle condizioni per la loro eliminazione ed individuando le direzioni di intervento da adottare.

Nei paragrafi seguenti vengono presentati il modello completo e l'analisi e soluzione rispettivamente dei principali problemi elementari evidenziati.

*The diagram elements*

	<i>Ultimate Goal</i>
	<i>Ultimate Anti-Goal</i>
	<i>Desired Event</i>
	<i>Undesired Event</i>
	<i>Choice or Controllable Condition</i>
	<i>Uncontrollable Condition</i>
  	<i>Entrants (Events and Conditions): Dashed Border</i>

*Relationship between the diagram elements*








	<i>Design Intent (Dashed Perimeter)</i>
	<i>Creates a Positive (Desired Event)</i>
	<i>Creates Negative (Undesired) Event</i>
	<i>Together (Boolean AND)</i>
	<i>Either (Boolean OR)</i>
 	<i>Cancels (Eliminates)</i>

Fig. 11.2 - Simboli impiegati per la modellazione a eventi (*ReEvent Diagram*) e relativo significato

### 11.3 Fase preliminare: stato dell'arte, vincoli, criteri per la scelta delle soluzioni

Le bielle da competizione sono oggetto continuo di miglioramento di dettaglio al fine di ridurre le inerzie del sistema; particolare attenzione viene posta soprattutto alle masse alterne, idealmente la porzione di biella oltre 1/3 della distanza fra i due occhi dall'asse della testa di biella.

I motori a 4 tempi presentano tutti bielle scomponibili e non si ritiene opportuno realizzare l'albero motore in più parti in modo tale da costruire bielle monolitiche, come nel caso del 2 tempi. Cappello e fusto sono normalmente accoppiati lungo un piano ortogonale all'interasse; nei motori di serie, per agevolare l'automazione delle attività di montaggio si ricorre anche a piani di accoppiamento inclinati di circa 45° rispetto all'interasse stesso.

L'assemblaggio fra fusto e cappello è oggi realizzato sempre mediante una coppia di viti mordenti con la testa in contatto con quest'ultimo. Dato che i materiali vengono sollecitati al limite delle loro potenzialità e per durate cicli di vita anche estremamente limitati, assume importanza notevole il controllo accurato del precarico delle viti. Per tradizione aziendale le bielle vengono realizzate in acciaio, con la sezione trasversale del fusto indifferentemente ad "H" o ad "H rovesciata".

Come già anticipato, si sono dettagliati risorse e vincoli del sistema in termini di:

- spazio (volumi disponibili, orientamento delle viti, asimmetrie, ecc.);
- tempo (ordine di montaggio, operazioni personale specializzato, strumentazione ad hoc, ecc.);
- campo-energia (sollecitazioni presenti);
- materiale (lavorazioni);
- funzioni.

Si omettono qui per brevità e per riservatezza dei dati aziendali i valori specifici relativi. Infine si sono esplicitati i criteri da adottare per la valutazione e la scelta delle soluzioni generate e la loro importanza relativa; nello specifico si sono definite due diverse serie di criteri, una per generici motori da competizione, fra cui i seguenti:

- prestazioni meccaniche;
- distribuzione dei pesi;
- costi;
- tempi di montaggio;
- unicità della soluzione;
- eccetera.

## 11.4 Analisi e formalizzazione del problema

Il diagramma a eventi (*RelEvent*) è stato costruito a partire dalle informazioni raccolte con il questionario iniziale. Come prima cosa è stata descritta la fase di montaggio della biella, dall'avvicinamento all'albero al serraggio delle viti, arrivando al *ultimate goal*, e cioè il fatto che la biella funzioni (fig. 11.3). A partire poi dalla condizione di serraggio delle viti e da quella di carico affaticante sia sulle viti che sull'intera biella, sono stati considerati gli eventuali effetti negativi che potrebbero portare il sistema all'*ultimate anti goal*, ovvero ad un guasto (fig. 11.4).

Scopo di un diagramma *RelEvent* è quello di andare a caratterizzare i singoli problemi elementari presenti in tutta la "catena" del sistema. Per la risoluzione di questi è importante andare poi ad estrarre il parametro caratterizzante. Non è detto che ad un problema elementare corrisponda un unico parametro. Di seguito si riportano alcuni esempi di isolamento di un problema elementare dal diagramma *RelEvent* completo e relativa identificazione dei parametri di progetto ad esso pertinenti.

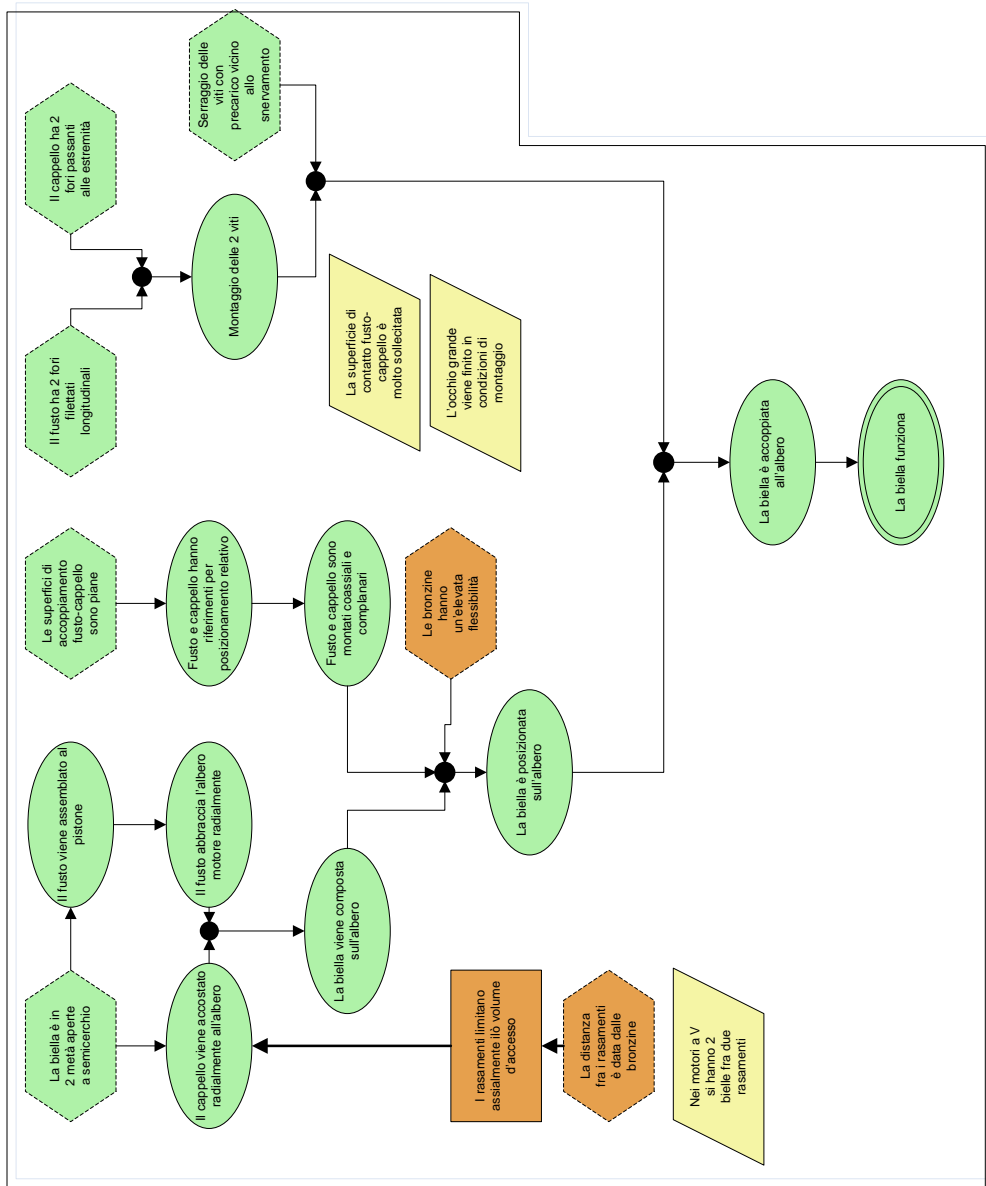
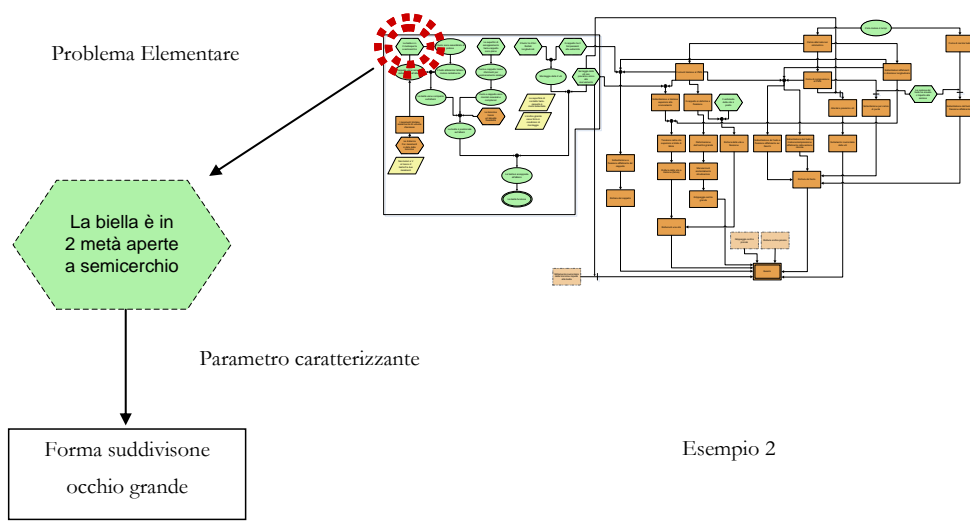
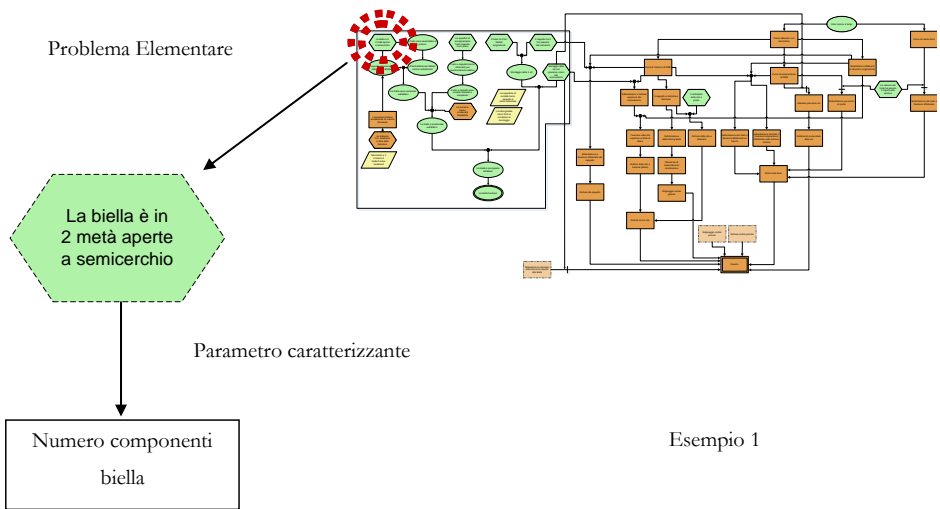
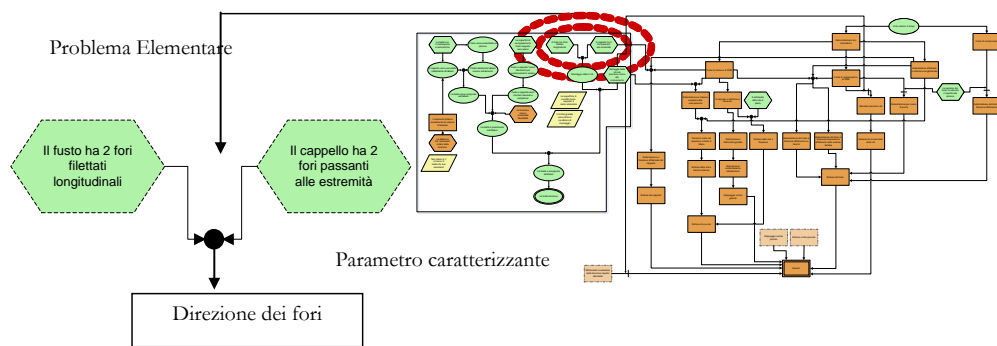
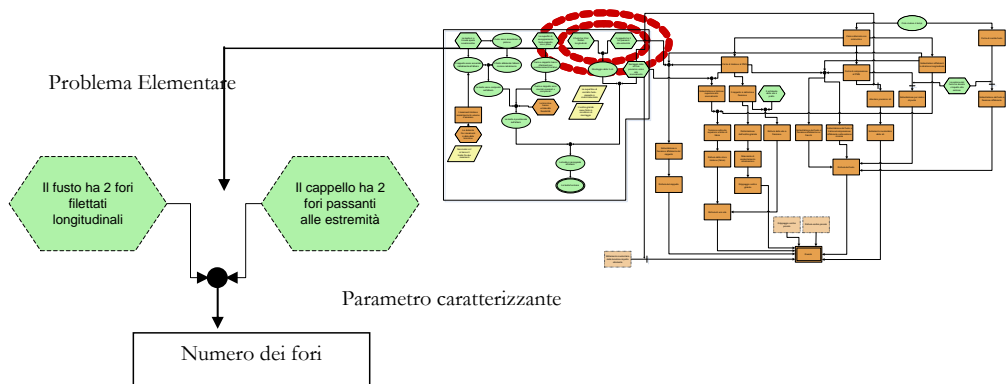


Fig. 11.3 - Parte destra del *RelEvent*







## 11.5 Generazione di proposte solutive

Una volta isolati i problemi elementari ed identificati i parametri di progetto che su di essi impattano, si procede con la fase di generazione di idee, sulla base dei principi inventivi Triz. Per ogni gruppo “Problema elementare – Parametro” sono state ideate alcune soluzioni. Non verranno qui riportate tutte per brevità e per ovvi motivi di riservatezza.

Si prenda ad esempio il parametro “Numero componenti biella”: attualmente la biella è in due pezzi per garantirne il montaggio sull’albero, ma trattandosi di due metà semicircolari, il moto di accostamento all’albero non può che essere radiale. Applicando il principio di Segmentazione (#1) si può ad esempio realizzare il cappello in due

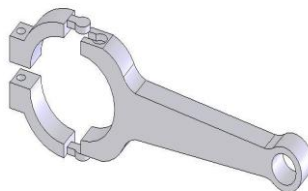


Fig. 11.5

parti, anziché in un pezzo unico (fig. 11.5).

In questo modo l'accostamento all'albero può avvenire combinando moto radiale e moto circonferenziale e/o assiale (compatibilmente con lo spazio eventualmente lasciato libero dai rasamenti sull'albero motore). La giunzione al fusto può essere realizzata con un accoppiamento di forma (schematicamente rappresentato in figura).

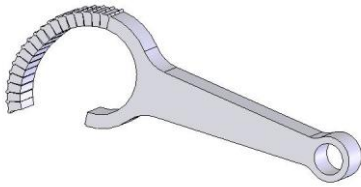


Fig. 11.6

Una segmentazione più spinta può suggerire la realizzazione di un occhio grande a mo' di catena da avvolgere attorno alla bronzina (fig. 11.6).

Se invece, insieme al parametro "Direzione dei fori", si considera anche la presenza della filettatura intesa come elemento di tenuta che si oppone alle forze di trazione, applicando il principio inventivo #28 "Sostituzione

meccanica", nasce l'idea di utilizzare la forza d'attrito. Le viti in questo caso hanno la funzione di generare la compressione tra le due parti per aumentarne l'adesione (fig. 11.7). È pensabile aumentare il coefficiente d'attrito con l'impiego di zigrinature o adesivi.

Agendo sul parametro "Numero fori per le viti", mentre un suo incremento non conduce a soluzioni vantaggiose, è utile indirizzarsi verso una sua riduzione. Riducendo il numero delle viti a uno, con un cappello diviso in due parti che in qualche maniera vanno ad innestarsi nel fusto, si ritorna al disegno di figura 11.1. Conducendo ad un estremo questa riduzione del numero di viti, si giunge alla sua eliminazione: si può ad esempio ipotizzare una sostituzione mediante chiavette (fig. 11.8).

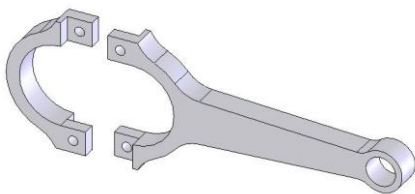


Fig. 11.7

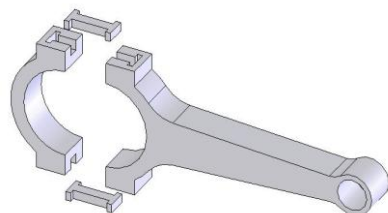


Fig. 11.8

### 11.5.1. *Analisi brevettuali e confronto soluzioni*

Per validare l'iter progettuale sopra descritto e per verificare al tempo stesso la presenza di brevetti che impediscano la realizzazione delle soluzioni proposte, si è effettuata un'accurata ricerca brevettuale. Vale la pena di osservare che in questo caso si è preferito non compiere l'analisi brevettuale in fase di analisi dello stato dell'arte per evitare di accrescere le inerzie psicologiche che avrebbero potuto impattare la generazione di soluzioni. Si suggerisce di posticipare l'analisi brevettuale in tutte le applicazioni in cui la complessità del sistema è limitata, per cui non sono necessari approfondimenti sulle diverse tecnologie adottate nel proprio campo di applicazione ed in quelli affini.

L'esito della ricerca ha di fatto chiuso le porte per lo sviluppo di alcune delle soluzioni sopra descritte, in quanto già brevettate; allo stesso tempo l'aver riscontrato che grandi case automobilistiche hanno generato soluzioni analoghe e le hanno tutelate mediante deposito di brevetto pur non adottandole necessariamente nella produzione ordinaria, è di per sé una dimostrazione dell'efficacia del metodo adottato grazie al quale in tempi contenuti e con minime risorse impegnate ha consentito il concepimento di soluzioni innovative ed efficaci.

La General Motors è titolare del brevetto US4836044 in cui la direzione di soluzione è quella di diminuire il numero di viti, e la variazione della direzione dei fori (fig. 11.9). Si noti l'analogia con alcune delle soluzioni descritte nel paragrafo precedente. Anche la soluzione che prevede la sostituzione delle viti con chiavette di varia geometria mostrata in figura 11.8 è già stata oggetto di studio e tutelata da Toyota con una domanda di brevetto presentata nel 2005 (fig. 11.10).

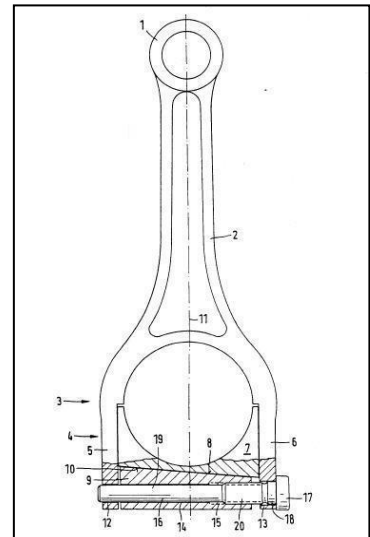
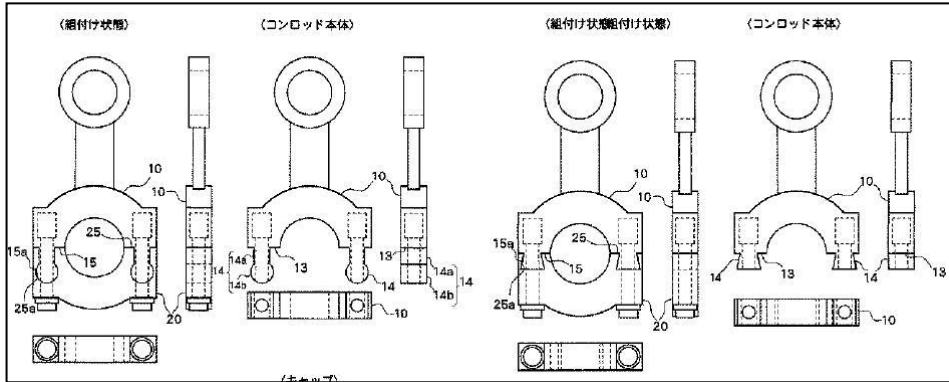


Fig. 11.9: Brevetto US 4836044



11.10: Brevetto JP2005344826A

## 11.6 Conclusioni

Il caso studio qui brevemente descritto può considerarsi un'ulteriore conferma delle potenzialità che le tecniche di Innovazione sistematica possono fornire: pur trattandosi di un campo estremamente competitivo in cui operano grandi aziende multinazionali, si è mostrato come anche un componente maturo e collaudato come una biella per motori 4 tempi possa essere oggetto di innovazioni anche radicali che ne migliorano significativamente le prestazioni. La soluzione finale scelta da Scam, qui omessa per motivi di riservatezza, consente di ottenere una riduzione in peso di circa il 12%.

La nuova soluzione è stata protetta tramite il deposito della domanda di brevetto di invenzione con numero MI2007A000681.