

Giornate dell'innovazione BMW Group 2010.

Mobilità del futuro.

Sommario.

1. Perché l'elettromobilità?	2
2. Il Project i.	12
3. La catena cinematica elettrica.	20
4. Costruzione leggera e LifeDrive Concept.	30
5. CFRP – un materiale per il futuro.	38



1. Perché l'elettromobilità?

Al giorno d'oggi la nostra società, e con essa l'ambiente che orbita attorno alla mobilità individuale, si ritrovano a confrontarsi con sfide sempre più impegnative. Un crescente numero di fattori influenza la portata dell'agire non solo individuale, ma anche delle realtà imprenditoriali. Il mondo attraversa una fase di profondi mutamenti ecologici, economici e sociali. Ma quali sono gli sviluppi a cui è necessario rivolgere l'attenzione e come si devono affrontare?

Cambiamento del clima e riscaldamento globale.

Il cambiamento del clima e il surriscaldamento del globo che esso comporta sono una realtà. Il decennio dal 2000 al 2009 è stato senza dubbio il più caldo mai registrato, e pur tuttavia anche gli sforzi mondiali per contrastare questo fenomeno sono stati i più intensi mai compiuti. L'ulteriore incremento della temperatura media ha accompagnato tutta una serie di conseguenze di ampia portata, tra cui l'intensificazione dello scioglimento dei ghiacci, un aumento del livello del mare, una modificazione delle precipitazioni e un crescente numero di fenomeni meteorologici estremi. Tra le cause dell'incremento costante della temperatura media ricordiamo l'intensificazione indotta dall'uomo del naturale effetto serra. La produzione di CO₂ dannosa per il clima ha origine in particolare nell'utilizzo di combustibili fossili, che accelera ulteriormente l'effetto serra e quindi il surriscaldamento del globo. Per poter rallentare, ed eventualmente addirittura arrestare, questa trasformazione climatica occorre quindi soprattutto ridurre drasticamente e tempestivamente le emissioni di CO₂. Tra le soluzioni atte al raggiungimento di questo scopo citiamo il passaggio da combustibili fossili a fonti energetiche rigenerative e l'incremento dell'efficienza di tutti gli utilizzatori di energia.

Penuria delle risorse.

Oltre alle variazioni climatiche, la vera e propria minaccia globale è costituita soprattutto dalla penuria delle risorse. Infatti, sebbene il fabbisogno quotidiano cresca, non esistono disponibilità illimitate di materie prime importanti come il petrolio e i metalli nobili. Da un lato la causa del consumo delle risorse è da ricondurre al crescente livello di industrializzazione dei paesi emergenti. Dall'altro anche l'aumento della popolazione, uno standard di vita



crescente e una gestione non oculata delle materie prime contribuiscono a questo genere di evoluzione. La conseguenza è l'aumento dei prezzi di quasi tutte le materie. In un futuro non troppo lontano- il momento esatto è controverso- si raggiungerà il picco petrolifero (Peak Oil). Da quel momento in poi domanda e offerta cominceranno a divergere e non sarà più possibile soddisfare tutte le richieste. Pertanto è già iniziata una ricerca spasmodica di alternative al petrolio.

Sostenibilità come trend sociale.

La forza sempre più dirompente dello sviluppo climatico e della penuria delle risorse ha indotto le persone a prendere maggiore coscienza del proprio ruolo nel sistema ecologico. Molte persone sono già sensibilizzate, si vedono come parte di un sistema collettivo e desiderano comportarsi in modo consapevole e responsabile anche per il bene delle generazioni future, adottando uno stile di vita sostenibile. Sostenibile, tuttavia, significa molto più che semplicemente "ecologico". Nell'accezione generale del termine, "sostenibilità" presenta tre aspetti: uno ecologico, uno economico e uno sociale. La sostenibilità ecologica interpreta l'obiettivo di conservare la natura e l'ambiente per le generazioni future, ossia descrive una gestione responsabile delle risorse. La sostenibilità economica favorisce un'operatività economica in grado di offrire una base di guadagno e di benessere stabile e duratura. La sostenibilità sociale implica lo sviluppo della società come un percorso che consenta la partecipazione a tutti i membri di una comunità. Già da tempo il BMW Group si è votato alla sostenibilità in tutti e tre i suoi aspetti fondamentali al fine di creare un valore aggiunto per l'azienda, l'ambiente e la società.

Il fatto che l'importanza della sostenibilità venga sempre più percepita anche nell'economia viene documentato da strumenti come il Dow Jones Sustainability Index. Questi indici azionari valutano le aziende non solo sulla base degli aspetti economici, ma tengono conto anche di aspetti ecologici e sociali. Sotto questo profilo il BMW Group è leader di settore da cinque anni.

Crescente urbanizzazione – la città chiede nuove soluzioni per la mobilità.

Un altro trend che è possibile osservare riguarda il crescente livello di urbanizzazione. Sempre più persone si trasferiscono dalla campagna in città, i paesi si trasformano in centri urbani, i confini tra campagna e città si fondono e nascono grandi agglomerati. Dal 2007 ormai già più della metà



della popolazione mondiale abita in città. In base a pronostici dell'ONU, entro il 2030 la percentuale mondiale della popolazione urbana passerà a oltre il 60 per cento e nel 2050 raggiungerà circa il 70 per cento. Già oggi nel mondo ci sono oltre 130 città con più di tre milioni di abitanti.

Un particolare effetto collaterale dell'urbanizzazione è costituito dalle cosiddette "megalopoli". Si parla di megalopoli o di spazio megaurbano, a seconda della definizione, nel caso di città con almeno otto milioni di abitanti. In tutto il mondo sono sorte nel frattempo oltre 30 di queste megalopoli, in cui vivono complessivamente oltre 280 milioni di abitanti. Mentre questi centri urbani crescono a un ritmo sempre più rapido, aumentano anche i problemi, come la carenza di spazio e l'inquinamento ambientale. Si deve ricordare, tuttavia, che ciascuna megalopoli è diversa dall'altra: in base alla definizione, infatti, Shanghai, Londra, Los Angeles o Tokio vengono senza dubbio considerate megalopoli, ma sono molto diverse tra loro sotto il profilo delle infrastrutture per i trasporti e delle esigenze degli abitanti per quanto riguarda la mobilità individuale. L'influsso della crescita sulle infrastrutture urbane si differenzia da città a città.

Le legislazioni rispecchiano le modificazioni ambientali.

Anche i governi di diversi paesi si stanno muovendo in seguito al cambiamento del clima e alla penuria di risorse. Con l'introduzione di certificazioni per veicoli esenti da emissioni, limitazioni di accesso e ambiziose leggi sulle flotte, cercano di contrastare l'incremento delle emissioni di CO₂. Entro il 2020 USA, Europa, Cina e Giappone pretendono, ad esempio, una riduzione delle emissioni dei parchi auto pari al 30 per cento rispetto all'anno 2008.

La risposta del BMW Group.

La mobilità del futuro esige un nuovo equilibrio tra esigenze globali e bisogni individuali. Si richiedono nuove soluzioni per la mobilità individuale nello spazio urbano. Tali soluzioni devono essere tangibilmente sostenibili e se possibile non essere vincolate a limitazioni, offrendo però la possibilità di una certa differenziazione. In questo contesto la riduzione del consumo di carburante e delle emissioni diventa sempre più importante. Il BMW Group ha riconosciuto queste necessità e si è imposto l'obiettivo di rendere possibile una mobilità senza emissioni, sviluppando una vettura che dischiude nuove possibilità e rispondendo ai desideri in evoluzione della clientela.



"Anche in futuro ci sarà esigenza di mobilità individuale. I clienti vorranno continuare a decidere da soli quando, dove e come spostarsi. Tuttavia, vorranno farlo rispettando il più possibile l'ambiente. Inoltre, continuerà ad esserci anche un desiderio di differenziazione, un desiderio di distinguersi, ad esempio con prodotti premium." (Peter Ratz)

L'elettromobilità come soluzione sostenibile e sviluppo stabile.

Il BMW Group vede nell'elettromobilità una possibilità per soddisfare le esigenze future della mobilità individuale, in quanto comporta soprattutto il grande vantaggio di abbattere le emissioni locali. Infatti nell'elettromobilità è la corrente elettrica, e non il carburante, a venire trasformata in energia cinetica, e in questo modo le vetture non producono gas dannosi per il clima. Se l'energia per muovere i mezzi viene ricavata da fonti rigenerative, come l'energia eolica o idroelettrica, l'elettromobilità non esercita alcun impatto sul clima e salvaguarda le risorse naturali, dal momento che neppure la generazione dell'energia necessaria prevede la dispersione di CO₂ nell'ambiente. Da un lato le vetture elettriche contribuiscono alla riduzione di emissioni e incrementano la qualità della vita nelle grandi città, dall'altro l'elettromobilità soddisfa la crescente esigenza della clientela di mantenere una condotta nel complesso ecologica, sostenibile e non inquinante.

"L'elettromobilità garantisce all'individuo la mobilità senza appesantire l'ambiente con emissioni nocive." (Martin Artl)

Dinamismo, coppia e comfort – l'elettromobilità è un piacere.

Eppure l'elettromobilità non è semplicemente esente da emissioni; oltre a questo offre un'esperienza di guida ineguagliabile e fortemente emozionale. Non è solo per il fatto che le auto elettriche si muovono pressoché in assenza del rumore causato dal motore. Nei motori elettrici l'intera coppia della macchina elettrica è subito disponibile. Questa caratteristica garantisce un alto livello di agilità, spingendo sul fattore del divertimento. Inoltre, un veicolo elettrico accelera senza soluzione di continuità fino alla velocità massima.

"Tutti i clienti tester ci confermano che l'elettromobilità è davvero divertente." (Ulrich Kranz)

La guida di un veicolo con motore elettrico va a braccetto con un'altra peculiarità: se si alza il piede dall'acceleratore, la vettura non si limita a procedere in modo passivo, ma rallenta attivamente. Il pedale



dell'acceleratore diventa quindi il pedale di marcia e consente uno stile di guida straordinariamente confortevole, soprattutto se si mantengono velocità medio-basse. Nel traffico urbano questo implica la possibilità di svolgere addirittura circa il 75 per cento di tutte le manovre di decelerazione senza toccare il pedale del freno. Il momento di rallentamento viene sfruttato anche per il recupero dell'energia. Non appena il guidatore toglie il piede dall'acceleratore, il motore elettrico diventa un generatore che trasforma in corrente elettrica l'energia cinetica e la lascia confluire nella batteria della vettura. Con questo sistema è possibile recuperare fino al 20 per cento dell'energia consumata.

Quali sono i limiti dell'elettromobilità?

Siamo appena all'inizio dello sviluppo dell'elettromobilità, ne consegue che in alcuni punti c'è ancora tanto da lavorare e da innovare. La sfida più impegnativa è senza dubbio il perfezionamento dell'accumulatore di energia. Attualmente questo elemento è il fattore limitante dell'elettromobilità a causa delle sue caratteristiche specifiche di densità energetica e di peso.

Densità energetica e peso dell'accumulatore di energia.

Attualmente in una batteria è possibile accumulare solo una limitata quantità di energia, la densità energetica del pacco batteria è quindi relativamente bassa. Al momento l'accumulatore di energia di una vettura elettrica contiene grosso modo l'equivalente energetico di due-tre litri di carburante. L'elevato rendimento di un motore elettrico in parte riesce a compensare questo fattore. Infatti, mentre un motore a scoppio è in grado di utilizzare al massimo il 40 per cento dell'energia del carburante, il motore elettrico sfrutta fino al 96 per cento dell'energia messa a disposizione. Un motore elettrico funziona quindi con un quantitativo di energia notevolmente inferiore. Senza dubbio, oggi l'autonomia di un veicolo elettrico non è ancora paragonabile a quella di un motore a scoppio; lo sviluppo dell'accumulatore di energia automotive è comunque solo all'inizio. Si deve quindi partire dal presupposto che estendendo ulteriormente le ricerche, nei prossimi anni la tecnologia compirà ulteriori balzi in avanti. In futuro gli accumulatori di energia non solo saranno notevolmente più economici, ma diventeranno anche più leggeri e compatti, pur disponendo allo stesso tempo di una maggiore densità energetica.

Accanto alla densità energetica, è il peso dell'accumulatore il secondo fattore a limitare l'autonomia. Sostanzialmente vale il principio secondo



cui a parità di capacità della batteria più leggero è il veicolo più aumenta l'autonomia. Purtroppo, a causa della ridotta densità energetica, una batteria in grado di far funzionare un'automobile ha più o meno le dimensioni di una grande valigia e, per giunta, è molto pesante. Senza dubbio si potrebbe aumentare l'autonomia incrementando la capacità della batteria. Ma in questo modo la batteria diventerebbe ancora più pesante, andando ad annullare di nuovo una parte dell'autonomia guadagnata. È quindi necessario trovare il rapporto ottimale tra il livello di peso e la capacità dell'accumulatore di energia e incrementare ulteriormente l'autonomia per mezzo di misure come una costruzione leggera rigorosa e strategie intelligenti di ricarica e utilizzo. Inoltre, si sta lavorando in modo mirato per accorciare drasticamente i tempi di ricarica mediante il "caricamento rapido". Perché per poter caricare completamente una vettura elettrica servono ancora parecchie ore di carica, e quindi di astensione dall'uso del mezzo.

"Siamo assolutamente consapevoli dei limiti dell'elettromobilità. Tuttavia, questo non ci impedisce di spostare ogni giorno il limite un poco più in là (passo dopo passo)." (Martin Arlt)

Gli sviluppatori del BMW Group hanno individuato gli ambiti dell'elettromobilità in cui c'è ancora molto da lavorare e si impegnano per trovare soluzioni ideali a beneficio del cliente. In questo ambito BMW Group gestisce vasti progetti pilota in Germania, Gran Bretagna e negli USA per ottenere preziose informazioni in merito all'utilizzo e al funzionamento di vetture elettriche e adattare ancora meglio alle esigenze della clientela. Come dimostrano i primi risultati del testing della MINI E, il BMW Group ha imboccato la strada giusta.

Il BMW Group persegue un approccio complessivo orientato al futuro.

L'elettromobilità è una componente integrale di EfficientDynamics: con EfficientDynamics il BMW Group ormai da tempo riduce con successo il consumo e le emissioni sfruttando nuove generazioni di motori ad alta efficienza, misure aerodinamiche, l'uso dell'innovativa costruzione leggera e una gestione intelligente dell'energia sulla vettura – tutto questo con un miglioramento delle prestazioni. Negli anni dal 1995 a 2009 è stato quindi possibile ridurre di poco meno di un terzo le emissioni di CO₂ dell'intero parco auto. Già oggi grazie a EfficientDynamics l'azienda realizza ulteriori vantaggi relativi al consumo con provvedimenti che spaziano dall'ulteriore



elettrificazione della catena cinematica fino all'ibridizzazione. In una prospettiva di lungo termine, EfficientDynamics rappresenta il passaggio alla mobilità ad emissioni zero – con batteria elettrica e anche mediante l'idrogeno ricavato con metodo rigenerativo.

"A lungo termine ci si muoverà esclusivamente con energie ottenute con metodi rigenerativi. Le risorse sono troppo preziose per sprecarle." (Peter Ratz)

Sostenibilità presso il BMW Group.

Eppure il BMW Group non si accontenta di prendere in considerazione solo il prodotto. Per il futuro BMW Group desidera portare avanti la rivendicazione di leadership evidenziata con EfficientDynamics anche in materia di sostenibilità lungo l'intera catena del valore. Pertanto, la strategia di sostenibilità del BMW Group impone non solo di continuare a sviluppare tecnologie di propulsione efficienti e a implementare concetti per una mobilità sostenibile nelle aree di concentrazione urbana, ma anche di ridurre drasticamente il consumo di risorse e i carichi sull'ambiente anche all'interno del processo di produzione aderendo alla filosofia della Clean Production. E in quanto membro attivo della comunità, l'azienda si impegna nella risoluzione di sfide sociali, con l'obiettivo di contribuire attivamente alla creazione di condizioni generali per la propria operatività all'interno e all'esterno dell'azienda.

"In azienda siamo convinti che in futuro anche il segmento premium della mobilità sarà più che mai influenzato dagli aspetti della sostenibilità. Chi è orientato al meglio, in futuro ovviamente includerà nel concetto di "meglio" anche la sostenibilità." (Martin Arlt)

BMW orienta con coerenza i propri processi e le proprie strutture verso l'elettromobilità.

Per conferire anche alle vetture elettriche l'impronta dell'azienda, il BMW Group assegna grande valore allo sviluppo e al design degli elementi identificativi di una vettura elettrica. Per quanto riguarda l'accumulatore di energia, gli sviluppatori cercano di ottenere il massimo delle prestazioni e dell'autonomia dalle batterie per mezzo di una gestione efficace dell'accumulazione, di strategie di funzionamento intelligenti e di una regolazione ottimale della temperatura. Anche il propulsore ad alta efficienza deriva dall'attività di sviluppo interno. Il BMW Group rivendica



anche per il futuro l'esigenza di continuare a costruire i migliori motori per automobili. Motori che si distinguono dalla concorrenza per efficienza ed erogazione di potenza – anche quando a generare il movimento è la corrente elettrica invece del carburante.

"Il BMW Group ha la competenza motoristica nel proprio DNA. E continuerà ad essere così anche in futuro." (Patrick Müller)

In altri settori il BMW Group elabora il proprio know-how con partner competenti, tra cui SB LiMotive nel settore dello sviluppo batterie oppure SGL Automotive Carbon Fibers (SGL Group) nello sviluppo e nella produzione di fibre di carbonio e roving in fibra di carbonio. Queste sinergie permettono agli sviluppatori di sfruttare preziose competenze per far progredire anche in futuro la mobilità individuale. Nell'ambito della joint venture con SGL Automotive Carbon Fibers (SGL Group) è sorto, per esempio, uno stabilimento ultramoderno per la produzione di fibre di carbonio gestito con modalità rigenerative a Moses Lake (USA) per poter produrre il materiale nel modo migliore possibile e per poterlo lavorare in economia.

Il Megacity Vehicle – mobilità sostenibile nell'ambiente urbano.

Il Megacity Vehicle (MCV) rappresenta una possibilità di come il BMW Group immagina la mobilità futura in ambiente urbano. Come vettura in "Purpose Design", sotto il profilo strutturale l'MCV si orienta rigorosamente alle esigenze e ai requisiti dell'elettromobilità. Perché, come dimostra il lavoro di sviluppo svolto fino ad ora su MINI E e BMW Concept ActiveE, la riconversione di una vettura che in origine era allestita per funzionare con un motore a scoppio (Conversion Vehicle) non è ancora in grado di sfruttare a pieno il potenziale dell'elettromobilità. Pertanto l'MCV integra i componenti della propulsione elettrica di nuova concezione in un'architettura automobilistica completamente rinnovata. Una costruzione leggera rigorosa e l'uso innovativo del CFRP perfezionano fin nei minimi dettagli il concetto ben studiato della vettura.

BMW ha intrapreso i primi passi in direzione della propulsione elettrica già nel 1969, con la BMW 1602 elettrificata. Negli ultimi quarant'anni con svariati prototipi e strutture di prova il BMW Group ha accumulato un prezioso know-how in materia di tecnologie di propulsione alternative, dando abbondante prova delle potenziali opportunità di implementazione, tra



l'altro con la BMW E1, un modello sperimentale, che già nel 1991 presentava numerose caratteristiche delle vetture elettriche moderne e con la quale si mirava a esplorare nell'uso pratico vantaggi e svantaggi di questo tipo di propulsione. Tuttavia, fu solo con la tecnologia agli ioni di litio che si aprirono prospettive concrete per lo sviluppo di serie, dal momento che erano in grado di soddisfare i necessari requisiti di resistenza ai cicli di carica/scarica e di capacità e avevano già evidenziato più volte queste doti in svariate applicazioni. Il BMW Group agì rapidamente e ben presto ebbe modo di tradurre le proprie conoscenze in un risultato utile per la clientela: la MINI E. Questa importante pietra miliare nello sviluppo dell'elettromobilità del BMW Group circola per le strade già dalla metà del 2009. E con oltre 600 vetture MINI E, il BMW Group gestisce già oggi una delle più grandi flotte di automobili elettriche nelle mani della clientela. I primi risultati dei test mostrano che l'elettromobilità è senza dubbio già adatta all'uso nella vita quotidiana.

"I tempi sono maturi per le auto elettriche." (Patrick Müller)

BMW pensa oltre il prodotto.

L'elettromobilità dischiude opportunità completamente nuove anche esternamente alla vettura. Infatti, è possibile ipotizzare svariati servizi orbitanti attorno al caricamento delle vetture elettriche. È per questo che il BMW Group sta già collaborando con fornitori di elettricità per consentire un accesso rapido e flessibile all'elettricità "verde". Altre possibilità per rendere ancora più appetibile l'elettromobilità agli occhi dei clienti sono individuabili nei regolatori di carica intelligenti e nella ricarica da remoto. Ecco perché il BMW Group sta testando con i propri partner la cosiddetta ricarica pilotata. Con questa strategia di ricarica anticiclica la vettura elettrica viene caricata solo in momenti di basso fabbisogno generale di corrente oppure quando si ha a disposizione energia rigenerativa, ad esempio durante la notte. Basta semplicemente indicare l'ora finale in cui la vettura deve essere caricata. A seconda delle preferenze, è quindi possibile caricare la vettura in modo particolarmente ecologico oppure particolarmente rapido. A più lungo termine esistono idee per rendere le vetture elettriche parte integrante dell'alimentazione energetica, ad esempio, utilizzandole come accumulatori tampone.

In futuro il BMW Group integrerà la mobilità individuale in una cornice ancora più vasta. Dal momento che la crescente urbanizzazione sta



progressivamente modificando i presupposti della mobilità, il BMW Group sta pensando anche a servizi di mobilità in cui dovrà giocare un ruolo fondamentale l'intermodalità dei mezzi di trasporto.



2. Il project i.

Con lo sguardo rivolto agli sviluppi attuali della società e dell'ambiente (cap. 1), a metà del 2007 il BMW Group ha presentato il nuovo orientamento dell'azienda: la strategia "Number One". Una strategia che mette in primo piano la redditività costante, l'incremento duraturo del valore e la garanzia dell'indipendenza dell'azienda. Accanto alla crescita del core business, occorre esplorare anche nuovi campi d'azione redditizi lungo il ciclo di vita dell'automobile e la catena del valore. Nel contempo il BMW Group investe sostanzialmente in tecnologie del futuro, nuovi concept di automobili e sistemi di propulsione innovativi. L'esigenza è chiara: anche in futuro il BMW Group dovrà rimanere il fornitore leader di prodotti e servizi di alta gamma per la mobilità individuale.

Nell'ambito della nuova strategia aziendale, è stata condotta una vasta analisi ambientale qualitativa volta a comprendere cosa muova la società e quali potrebbero essere le tecnologie, le tendenze e le sfide per la mobilità futura – in particolare nel contesto degli sviluppi climatici e demografici. Una delle risposte a queste domande è il Project i.

"Con il Project i il BMW Group affronta le sfide future della mobilità individuale." (Martin Arlt)

Il compito.

Alla fine del 2007 con Project i è partita un'iniziativa il cui compito consiste nello sviluppo di concetti di mobilità sostenibili e pionieristici – sempre con la consapevolezza che da questo progetto debba avvenire un trasferimento di know-how nell'azienda e in futuri progetti relativi ad automobili. L'obiettivo a lungo termine del Project i è quello di fornire nuovi spunti di riflessione su tecnologie, processi e concetti di automobili nei settori dalla produzione, dello sviluppo e della distribuzione. L'incarico concreto consisterà nello sviluppare nuovi prodotti pionieristici, pronti ad affrontare miratamente le sfide e le esigenze dei clienti in un ambiente urbano.



L'approccio.

Ma qual è il modo migliore per avvicinarsi a questi obiettivi? Per l'implementazione di questi obiettivi non servono solo nuovi processi e tecnologie, ma occorre rimettere in discussione l'intera ingegneria automobilistica come conosciuta fino ad oggi. È per questo che il Project i esce dalle strutture esistenti, riunendo gli esperti e le figure anticonformiste di tutta l'azienda in un unico luogo. Nell'ambito di questa unità organizzativa, piccola ma forte ed efficiente, si definiscono gli obiettivi e i requisiti delle soluzioni di mobilità sostenibili di domani confrontandoli con le future esigenze della clientela. Per fare in modo che fin dall'inizio il team possa approcciarsi alle problematiche nel modo più libero e svincolato possibile, il progetto è stato strutturato all'insegna della neutralità di marchio. Con questo approccio, il "think tank" potrà lavorare in modo indipendente e non convenzionale, pur mantenendo il pieno supporto degli esperti di tutta l'azienda. In una cultura dello scambio aperto e trasparente, il Project i sfrutta il know-how di tutti i comparti aziendali.

"Per me è un'esperienza fantastica poter collaborare a un progetto di questo tipo con colleghi che si trovano tutti sulla medesima lunghezza d'onda. Fin dall'inizio abbiamo avuto veramente tutta la libertà di cui avevamo bisogno. Regnava addirittura un'atmosfera che altrimenti è possibile incontrare solo in occasione di uno start-up." (Peter Ratz)

L'inizio con nuove premesse.

Gli sviluppatori del BMW Group hanno cominciato il proprio lavoro per il Project i due anni e mezzo fa, ma senza dover partire da una pagina bianca. Il lavoro di sviluppo è stato preceduto da un'intensa attività di ricerca tesa a sondare le questioni della mobilità e delle future esigenze della clientela al fine di identificare possibili potenziali di sviluppo per il BMW Group. Nell'ambito del Project i non si riflette più solo sulle vetture, ma la ricerca viene sempre svolta anche nel contesto di soluzioni di mobilità complessive. Si arrivò presto a riconoscere che il primo livello di sviluppo doveva essere un'auto il più ecologica possibile, ossia esente da emissioni, e allo stesso tempo capace di soddisfare le esigenze della moderna mobilità urbana: il Megacity Vehicle (MCV).

L'obiettivo definito internamente all'insegna del quale si svolge tutto il progetto è il livello massimo possibile di sostenibilità. Dal primo fornitore



alla produzione e poi al riciclaggio dei componenti una volta esaurita la vita utile della vettura, la sostenibilità deve rispecchiarsi nei processi in tutti e tre i suoi aspetti: basso impatto ambientale (ecologia), redditività (economicità) e compatibilità sociale. Pertanto, gli sviluppatori hanno verificato innanzitutto tutti i processi e gli elementi della catena del valore. Hanno controllato se l'attuale procedura soddisfaceva gli elevati requisiti di sostenibilità autoimposti oppure se poteva essere perfezionata o addirittura ridefinita in determinati punti. I risultati hanno costituito allo stesso tempo le premesse per la nascita del Megacity Vehicle.

"Volevamo vedere che aspetto avrà la mobilità del futuro, per sviluppare dalle conoscenze ottenute concetti di mobilità sostenibili tarate specificamente sull'ambiente urbano. E, più precisamente, sostenibili lungo l'intero processo, dalla nascita del prodotto al suo utilizzo e poi al possibile recupero di diversi componenti e al riciclaggio." (Peter Ratz)

Il risultato.

Il progetto ha sfruttato in modo intensivo tutte le libertà e le possibilità disponibili. Il risultato è un concetto di mobilità globale sostenibile – il Mega City Vehicle (MCV). L'MCV rappresenta una possibilità di come il BMW Group immagina una city car sostenibile. Concepita essenzialmente per l'uso in città, assomma in sé dinamismo, comfort e sostenibilità. Con la catena cinematica elettrica di nuova concezione (cap. 3), il rivoluzionario concetto di carrozzeria "LifeDrive" e l'innovativo utilizzo del CFRP per la cella di sopravvivenza (cap. 4) consente una guida eccellente, sicura e confortevole in città – completamente senza emissioni.

Dal momento che lo sviluppo del prodotto è stato trattato nella sua totalità, l'introduzione dell'MCV introduce anche drastiche variazioni dei processi. Grazie alle nuove caratteristiche della propulsione e dell'architettura dell'automobile, oltre che all'uso di nuovi materiali, parte della produzione viene assoggettata a processi completamente diversi. Insieme a partner molto validi come SB LiMotive (sviluppo delle celle batteria) e SGL Automotive Carbon Fibers (produzione di fibra di carbonio e tessuti in fibra di carbonio) il BMW Group conquista nuovi prestigiosi spazi di competenza.



"Le tecnologie sviluppate presso il BMW Group nell'ambito del Project i celano un enorme potenziale per un agire ecologicamente ed economicamente sostenibile." (Martin Artl)

Il principio della sostenibilità pervade rigorosamente ogni fase di processo. Eppure, per il BMW Group prodotti ecologicamente sostenibili e quindi rispettosi nei confronti delle risorse non rappresentano un obiettivo fine a se stesso. Devono essere studiati correttamente anche sotto il profilo dell'economia d'uso e devono essere redditizi.

MINI E – Pionierismo nell'elettromobilità.

La fortunata storia del Project i inizia nella primavera del 2008 con la MINI E. È così che il progetto attira per la prima volta anche l'attenzione del grande pubblico. Come primo progetto del BMW Group in questo ambito, la MINI E con un'autonomia media d'uso quotidiano di 150 km e una potenza di 204 CV non si è limitata a definire nuovi canoni tecnici, ma svolge un importante lavoro pionieristico per lo sviluppo di concetti alternativi di propulsione sulla via di una mobilità completamente esente da emissioni di CO₂.

L'obiettivo dello sviluppo era quello di consegnare la MINI E nelle mani della clientela al più presto possibile per poter raccogliere direttamente dagli utenti preziose conoscenze relative all'uso quotidiano di un veicolo elettrico. Pertanto, dalla metà del 2009 clienti selezionati testano le vetture in Germania, negli USA e in Gran Bretagna su campi di prova estremamente estesi. Nell'arco di due fasi di testing estremamente intense, l'intera piccola serie fornisce importanti conoscenze in merito all'uso e al comportamento in esercizio delle vetture elettriche, favorendo in questo modo il perfezionamento dell'MCV. E con più di 600 vetture MINI E, il BMW Group gestisce oggi già una delle più grandi flotte di automobili elettriche nelle mani della clientela nelle varie parti del mondo.

La MINI E scende in strada.

In tutti e tre i paesi selezionati per il testing il BMW Group lavora in parte a stretto contatto con fornitori di energia, università e governi locali. Nell'ambito del progetto MINI E, il BMW Group offre agli utenti non solo la possibilità di un'esperienza di mobilità individuale completamente nuova, ma insieme ai



propri partner contribuisce a dar forma anche a parte delle infrastrutture. I fornitori di energia consentono agli utenti che lo desiderano l'accesso a corrente elettrica rigenerativa "verde".

Studio di utilizzo MINI E Berlino – l'elettromobilità si sposa con l'uso quotidiano.

Sebbene i test siano ancora in pieno svolgimento, i primi risultati da Berlino hanno dato un riscontro estremamente positivo. Come hanno affermato gli utenti in un sondaggio preliminare, si aspettavano limitazioni relative all'autonomia e ai tempi di ricarica. In effetti, però, queste limitazioni sono state avvertite come tali solo in pochi casi. Lo studio berlinese evidenzia quindi che oltre il 90% dei partecipanti non si è sentito limitato nel proprio comportamento di mobilità abituale dall'autonomia media di 150 km. Neppure i tempi di ricarica rappresentano una limitazione.

Come emerge, il comportamento d'uso di chi guida la MINI E si distingue solo marginalmente dal comportamento di utenti analoghi di MINI Cooper e BMW 116i. La lunghezza media di un singolo viaggio differisce di appena 2 km tra BMW 116i, MINI Cooper e MINI E e anche la percorrenza quotidiana complessiva delle tre automobili è molto simile. Se per la MINI E corrisponde a 37,8 chilometri, che è superiore alla media urbana complessiva tedesca, una BMW 116i percorre mediamente 42 km al giorno, mentre una MINI Cooper 43,5 chilometri. Il tragitto singolo più lungo finora realizzato da clienti con la MINI E corrisponde a 158 km. Il confronto con il comportamento d'uso tipico di una BMW Serie 5, tuttavia, mostra anche che l'elettromobilità non è ugualmente adatta a tutte le esigenze di mobilità. Ma questo, peraltro, non è l'obiettivo dichiarato. Eppure il 66% degli utenti berlinesi valuta la flessibilità della MINI E pari a quella di un'automobile tradizionale.

Per quanto riguarda le infrastrutture di ricarica accessibili al pubblico, si evidenzia che gli utenti in primo luogo cercano le stazioni di ricarica nei pressi del proprio posto di lavoro, in parcheggi pubblici, in corrispondenza di punti nevralgici della circolazione, come stazioni ferroviarie e aeroporti, oppure presso centri commerciali. La gran parte della corrente elettrica viene comunque caricata a casa e consente già ora ai clienti tester una mobilità sufficiente per la vita di tutti i giorni. La possibilità di caricare l'autovettura con energia rigenerativa grazie al partner Vattenfall Europe ha riscosso un grande successo. Questo dimostra che gli utenti percepiscono la guida di



vetture elettriche come un sistema complessivo di automobile, infrastruttura e generazione dell'energia e che in tutto questo desiderano assumersi le proprie responsabilità.

MINI E negli USA – guidare ad emissioni zero piace di più.

Anche le strade degli Stati Uniti vengono percorse da clienti tester a bordo della MINI E. A fronte della grande flotta composta da 450 auto MINI E negli Stati Uniti, il BMW Group ha varato una speciale collaborazione a scopo di ricerca con la University of California di Davis (UC Davis). Qui l'idoneità all'uso quotidiano della MINI E è stata testata a fondo per ricavare nozioni e giudizi ancora più approfonditi riguardo al comportamento di utilizzo.

I risultati confermano la risonanza positiva ottenuta a Berlino: la MINI E consente anche ai clienti tester americani di soddisfare pienamente le proprie esigenze di mobilità. L'autonomia di 100 miglia (circa 160 km) nella vita di tutti i giorni è assolutamente sufficiente. I guidatori statunitensi della MINI E hanno indicato una percorrenza media di circa 30 miglia (48 km) al giorno, laddove il cittadino statunitense percorre in media 40 miglia (circa 64 km) al giorno.

Neppure la ricarica a casa non rappresenta un problema per gli utenti americani. La metà degli utenti ha scelto di ricaricare la vettura addirittura quotidianamente, di routine, anche quando questo non era assolutamente necessario. Quindi non è stato affatto necessario ricorrere a un'ulteriore ricarica al di fuori del proprio garage.

Nessuna delusione nemmeno sotto il profilo del piacere di guida: tutti gli utenti hanno concordato nell'affermare che guidare la MINI E è divertente e non implica alcuna rinuncia. I clienti tester si sono abituati in fretta alla nuova sensazione di guida e in molti hanno dichiarato addirittura che, una volta tornati dalla MINI E alla propria vettura, si sono divertiti meno alla guida. Prova ne è la frequenza d'uso. Un terzo degli utenti ha affermato persino di guidare più la MINI E della propria auto.

Conclusioni tratte dagli studi.

I risultati provenienti da Berlino e dalla California mostrano che il BMW Group ha imboccato la strada giusta. Il numero di viaggi che non è stato possibile effettuare con la MINI E è stato decisamente esiguo. Le motivazioni addotte con maggiore frequenza negli Stati Uniti e in Germania sono stati la mancanza di spazio di carico e il numero di passeggeri limitato. Dai dati



ricavati è possibile dedurre che un Megacity Vehicle con un'autonomia leggermente superiore e una maggiore spaziosità è in grado di soddisfare le esigenze di mobilità degli abitanti dei grandi centri urbani praticamente al 100%. Il BMW Group sta già lavorando intensamente all'implementazione.

BMW Concept ActiveE – il prossimo passo.

Il BMW Concept ActiveE porta avanti con coerenza le attività di ricerca e sviluppo del BMW Group in materia di elettromobilità nell'ambito del Project i. Sulla base di questo studio concettuale, presentato nel dicembre 2009, nel 2011 il BMW Group intende consegnare nelle mani della clientela un'altra flotta di autovetture elettriche di prova. Questo testing servirà ad approfondire le nozioni già acquisite in merito all'uso quotidiano di autovetture con propulsore elettrico e a fornire ulteriori conoscenze in merito ai desideri della clientela.

Se sulla MINI E lo spazio nell'abitacolo era piuttosto limitato, sfruttando una migliore integrazione dei componenti di azionamento elettrico il BMW Concept ActiveE mette a disposizione quattro posti normali e un bagagliaio con un volume di circa 200 litri. Il motore concepito appositamente per la prima BMW a propulsione esclusivamente elettrica eroga 125 kW/170 CV e mette a disposizione una coppia massima di 250 newtonmetri. Il propulsore elettrico ricava la propria energia da accumulatori agli ioni di litio, anch'essi di concezione completamente nuova, che consentono un'autonomia di circa 160 km (100 miglia) nell'uso quotidiano. I componenti della catena cinematica elettrica sono stati concepiti tenendo conto dei requisiti dell'MCV e qui vengono testati in uno stadio di preserie.

Nel BMW Concept ActiveE, inoltre, vengono presentati nuovi servizi di BMW Connected Drive sviluppati in esclusiva per l'uso di autovetture elettriche. Tra questi rientrano funzioni che consentono di interrogare lo stato di carica degli accumulatori utilizzando il telefono cellulare, di cercare le stazioni di ricarica pubbliche oppure di attivare la funzione di riscaldamento o climatizzazione ad autovettura ferma.

Il Megacity Vehicle – la prima vettura di serie del BMW Group con motore elettrico.

Con il Megacity Vehicle (MCV) il BMW Group propone una nuova soluzione per la mobilità sostenibile in ambiente urbano che verrà lanciata



sul mercato già nel 2013 con un sottomarchio BMW. Come dimostra il lavoro di sviluppo su MINI E e BMW Concept ActiveE, il riallestimento di una vettura che in origine era concepita per funzionare con un motore a scoppio (Conversion Car) non è ancora in grado di sfruttare il pieno potenziale dell'elettromobilità. Conseguentemente, sotto il profilo costruttivo, l'MCV si orienta senza compromessi alle esigenze e ai requisiti dell'elettromobilità. L'MCV dispone di un propulsore di nuovo sviluppo (cap. 3) e di un'architettura rivoluzionaria (LifeDrive) (cap. 4) che coniuga rigorosamente costruzione leggera, funzionalità ottimizzata dello spazio e massima resistenza all'urto. In questo modo ci si rivolge anche ad un nuovo settore di clientela, dal momento che la catena cinematica elettrica dalla struttura compatta consente nuove concezioni dell'abitacolo con funzionalità inedite e livelli di libertà mai sperimentati prima nel design.



3. La catena cinematica elettrica.

Guidare un'auto finora ha sempre significato guidare un'auto con motore a scoppio. Eppure gli attuali sviluppi dell'ambiente e della società mostrano che l'uso dei combustibili fossili in tutti i settori della vita quotidiana è indissolubilmente legato a svantaggi ecologici e che questi stessi combustibili saranno ancora disponibili solo per un periodo limitato di tempo. Il BMW Group vede una possibilità di far fronte a questa situazione perseguendo intensamente lo sviluppo tecnico dell'elettromobilità. E, tuttavia, cosa si nasconde dietro il concetto di elettromobilità, quali sono le differenze rispetto a un motore a scoppio, che potenziali racchiude e che sfide rimangono da affrontare per gli sviluppatori?

Dinamismo ed emissioni zero – la nuova generazione del movimento.

La possibilità di muovere vetture con energia elettrica dischiude prospettive di mobilità completamente nuove. Dal momento che il funzionamento di un motore elettrico non dà luogo a gas dannosi per il clima, l'uso di energia elettrica consente una mobilità locale esente da emissioni e quindi rispettosa dell'ambiente. Se si utilizzano energie rigenerative, la produzione di corrente elettrica è addirittura del tutto esente da emissioni. Inoltre, l'elettromobilità va di pari passo con una sensazione di guida molto agile, completamente nuova. Le caratteristiche prestazionali di un motore elettrico moderno del BMW Group sono impressionanti e fanno dimenticare in fretta le associazioni con le auto elettriche di nicchia diffuse fino a questo momento. Al massimo è la scarsa rumorosità del motore a ricordare al pilota che sta viaggiando a propulsione elettrica.

"Lo sviluppo della coppia in una vettura elettrica è del tutto analoga al funzionamento di un interruttore della luce: è sufficiente premere/accendere per avere subito tutta la potenza a disposizione." (Hans-Jürgen Branz)

Un moderno propulsore elettrico del BMW Group, come ad esempio quello per il Megacity Vehicle, offre una potenza molto superiore a 100 kW. La sua particolarità, tuttavia, è che in questo caso tutta la potenza del motore è a disposizione fin dal momento dell'accensione e non deve essere



sviluppata dalla coppia del motore, come invece accade per i propulsori a combustione. Differenziali, dispositivi antipattinamento e un rapporto di trasmissione assicurano che tutta la coppia venga trasferita sulla strada. La coppia massima disponibile già a vettura ferma assicura alle automobili elettriche un'agilità particolarmente elevata, garantendo valori di accelerazione davvero impressionanti. La trazione posteriore del Megacity Vehicle integra perfettamente il comportamento prestazionale dei motori elettrici: grazie al trasferimento dinamico del carico sulle ruote, all'avviamento la gran parte del peso va a gravare sulle ruote motrici, migliorando la trazione e il trasferimento della forza. In questo modo la coppia elevata dei motori elettrici in combinazione con la trazione posteriore assicura il tipico dinamismo di guida del BMW Group.

Il BMW Group rivendica l'esigenza di continuare a costruire i motori migliori anche in futuro. Motori che si distinguono dalla concorrenza per efficienza, erogazione di potenza e silenziosità – anche quando a generare il movimento è la corrente elettrica invece del carburante. Con altrettanta tenacia il BMW Group porta avanti lo sviluppo tecnico dell'elettromobilità. Presso il centro di competenza motori elettrici del BMW Group, il cosiddetto "e-Werk", lavorano a stretto contatto gli esperti in sviluppo, produzione e acquisti, accomunati dall'impegno di implementare la nuova generazione di propulsori.

Accelerare senza cambiare.

I motori elettrici sfruttano una gamma del numero di giri notevolmente più ampia rispetto ai motori a scoppio. Sono senz'altro possibili numeri di giri superiori a 12.000 giri/min. Di conseguenza, il raggiungimento della velocità massima si configura in modo diverso. Grazie alla coppia elevata, una vettura elettrica accelera più rapidamente di una vettura dotata di motore a scoppio di potenza analoga, in più l'alto numero di giri utile consente un'erogazione della coppia senza interruzione a tutti i regimi. La potenza del motore attraversa un solo stadio di moltiplicazione per poi passa direttamente alle ruote; viene quindi a mancare un cambio a più rapporti. Questo significa che con un solo rapporto una vettura elettrica può accelerare da ferma direttamente fino alla velocità massima. La spinta senza interruzione della trazione con un numero di giri a incremento costante è un'esperienza del tutto particolare, che finora era possibile "provare" nei motori a scoppio solo con strutture costruttive complesse, come ad esempio i cambi a doppia frizione.



"L'elettromobilità non costituisce affatto un ripiego rinunciataro. Le vetture elettriche sono davvero divertenti." (Patrick Müller)

Solo la velocità massima teorica non viene portata al limite estremo per quanto riguarda il Megacity Vehicle (MCV). Dal momento che l'MCV verrà utilizzato essenzialmente in area urbana o periurbana, una velocità di punta di 150 km/h circa per ora è più che sufficiente. Velocità superiori sarebbero senza dubbio possibili, ma non sono necessariamente sensate, anche a causa del fabbisogno estremamente elevato di energia per la marcia ad alta velocità. Al crescere della velocità, infatti, aumenta, in modo esponenziale, anche la resistenza dell'aria. In proporzione aumenta in questo modo anche il consumo energetico. Dal momento però che, a causa della capacità di accumulo della batteria, viene messa a disposizione solo una quantità limitata di energia, velocità troppo elevate finirebbero per ridurre fortemente l'autonomia. Dall'altro lato per il raggiungimento di una velocità finale superiore servirebbe un rapporto di moltiplicazione diverso, che tuttavia penalizzerebbe notevolmente l'agilità della vettura nel traffico urbano. Un'ulteriore possibilità di aumentare la velocità massima può essere costituita da un cambio a rapporti, che tuttavia comporterebbe una complessità strutturale, un ingombro e un peso molto superiori.

Frenare con il pedale dell'acceleratore.

Tra le altre differenze che contribuiscono a rendere unica l'esperienza di guida di un'auto elettrica c'è la possibilità di frenare per mezzo del pedale dell'acceleratore, il che trasforma il pedale dell'acceleratore in un "pedale di marcia". Se si toglie il piede dal pedale la vettura non prosegue in folle, ma rallenta attivamente. Questo momento di rallentamento viene sfruttato anche per il recupero dell'energia. Durante le frenate il motore elettrico si trasforma in un generatore che produce energia, caricando la batteria. In linea di massima analogamente al recupero dell'energia di frenata dal pacchetto provvedimenti di EfficientDynamics, l'energia recuperata in questo caso può tuttavia essere riconvertita direttamente in spinta. Uno sfruttamento intensivo del recupero di energia da parte del motore porta ad un aumento dell'autonomia fino al 20%. La guida per mezzo del pedale di marcia consente, inoltre, una guida più rilassata con meno manovre con i pedali, permette una



reazione rapida ed è pertanto particolarmente indicata per "seguire il corso" del traffico cittadino. È possibile effettuare fino al 75% delle operazioni di frenata senza l'ulteriore azionamento del pedale del freno.

Potenti e compatti - i componenti del propulsore.

Una vettura con propulsore elettrico non offre semplicemente un comportamento su strada piacevole. La macchina elettrica dispone di una densità di potenza superiore rispetto a un motore a scoppio. Questo significa che in un motore elettrico è possibile tradurre e implementare la stessa potenza in uno spazio inferiore. Ad esempio, l'intero propulsore della BMW Concept ActiveE (e successivamente del MCV) senza accumulatore di energia è grande addirittura come due casse per bottiglie. Pertanto il gruppo propulsore compatto può essere perfettamente inserito nell'architettura del veicolo, inoltre non è più necessario integrare una catena cinematica e il complesso sistema dell'aria di ricircolo. Il ridotto ingombro e le dimensioni notevolmente inferiori del propulsore elettrico consentono un risparmio di spazio fino al 50% rispetto a un motore a scoppio con cambio, che nella concezione delle auto del futuro andrà a vantaggio soprattutto dei passeggeri nell'abitacolo.

Nel complesso, un propulsore elettrico si compone di più componenti che muovono il veicolo sfruttando l'interazione reciproca: il motore elettrico, l'elettronica di potenza, un rapporto di trasmissione e l'accumulatore di energia elettrica.

Il cuore elettrico - il motore elettrico.

Il cuore della propulsione elettrica è costituito dal motore elettrico. Detto in parole povere, l'ultima generazione del motore elettrico del BMW Group consiste in uno statore tubolare fissato rigidamente all'alloggiamento e in un cilindro girevole all'interno dello statore, ossia il rotore. Il rotore è collegato al rapporto di trasmissione e in questo modo alle ruote motrici. Nello statore vengono alloggiare le bobine in cui è possibile generare un campo magnetico grazie al flusso di corrente. Sul rotore, viceversa, si trovano uno o più magneti con polarità fissa. Il motore elettrico viene messo in movimento mediante l'attrazione e la repulsione mirate generate tra rotore e statore da un campo magnetico migrante (campo rotante). Il principio in questo caso sfrutta il fenomeno di attrazione tra poli opposti di un magnete e repulsione dei poli uguali – polo nord e polo sud si attraggono, mentre due poli sud o



due poli nord si respingono.

Inserendo la corrente elettrica, il polo sud del campo magnetico generato nello statore attrae il polo nord del magnete del rotore. Tuttavia, il polo sud passa alla fase successiva prima che il polo nord del rotore raggiunga il polo sud dello statore. Ne consegue che anche il rotore ruota ulteriormente "rincorrendo" il cambiamento dei campi magnetici sullo statore. Con il proprio moto rotatorio, il rotore trasmette l'energia meccanica necessaria per la propulsione. La velocità di marcia si modifica anche in base alla velocità alla quale il campo rotante fa girare lo statore. La coppia, viceversa, viene influenzata dal numero dei magneti e dall'intensità della corrente elettrica: maggiore è il numero dei magneti sul rotore e più alta è la corrente elettrica che fluisce, maggiore è la coppia che il propulsore elettrico è in grado di produrre.

Il principio di funzionamento qui descritto illustra una macchina sincrona trifase ad eccitazione permanente come quella in dotazione alla Concept ActiveE e anche all'MCV. "Macchina sincrona" significa che il rotore segue in modo sincrono il campo di eccitazione che circola sullo statore. Inoltre, il campo magnetico del rotore viene eccitato in modo permanente per mezzo di magneti e non deve essere generato per induzione (eccitazione separata). L'eccitazione separata sarebbe notevolmente più complessa, dal momento che per generare il campo magnetico nel rotore ci vorrebbe anche una seconda istanza di regolazione. Le macchine a eccitazione permanente al momento rappresentano l'optimum per quanto riguarda requisiti, complessità e funzionalità.

Più potenza grazie all'elettronica – l'elettronica di potenza.

Il presupposto base per un motore elettrico funzionante e per una capacità prestazionale ottimale è la corretta rotazione del campo magnetico sullo statore. Per poter raggiungere numeri di giri impegnativi, superiori a 12.000 giri/min., i campi magnetici delle fasi devono essere attivati con estrema rapidità e precisione. Questo importante compito viene svolto da una speciale unità di comando: l'elettronica di potenza, che garantisce l'ulteriore inserzione del campo rotante alla velocità desiderata e con l'intensità di campo specificamente necessaria. In questo modo assicura che il rotore ruoti al numero di giri necessario, erogando la coppia desiderata.



La batteria – il serbatoio dell'automobile elettrica.

Per poter muovere il motore di una vettura elettrica occorrono correnti molto alte. Per ogni fase si inseriscono correnti di intensità fino a 400 Ampere, il che equivale grosso modo a 25 volte quella di una presa domestica. Anche le tensioni si raddoppiano quasi rispetto all'alimentazione elettrica tradizionale dei normali utilizzatori, arrivando anche a 400 Volt. Per accumulare quest'energia e metterla a disposizione in caso di necessità, viene utilizzato un pacco batteria di celle di accumulo agli ioni di litio di nuova concezione. La tecnologia agli ioni di litio ha già dato buona prova di una capacità di accumulo e di una resistenza ai cicli di carica/scarica particolarmente elevate in molti campi applicativi, tra cui ad esempio i telefoni cellulari e i notebook. Una singola cella agli ioni di litio per il settore automotive è grande all'incirca come un libro tascabile e possiede una tensione nominale di circa 3,7 Volt. Il range di tensione utilizzabile di una cella oscilla, tuttavia, tra 2,7 e 4,1 Volt. Per ottenere un accumulatore ad alta tensione con la tensione sufficiente di 400 Volt occorre collegare in serie circa 100 di queste celle.

L'uso di celle per batterie è correlato ad alcune particolarità. Le celle agli ioni di litio non lavorano in modo omogeneo lungo l'intera curva della temperatura; solo la temperatura di esercizio ottimale di circa 20 °C assicura la massima autonomia. Di conseguenza, la temperatura dell'accumulatore di energia viene regolata secondo necessità per mezzo di elementi riscaldanti supplementari o una refrigerazione attiva. L'intervallo della temperatura utile delle celle utilizzate nel settore automobilistico è comunque notevolmente più "tollerante" rispetto a quello di altre celle batteria. Alcune batterie per laptop, ad esempio, non si caricano più a temperature inferiori agli zero gradi, e anche le prestazioni vengono fortemente limitate. Per quanto riguarda le celle del BMW Group, viceversa, senza dubbio alle basse temperature si verifica un crollo delle prestazioni, sebbene sia decisamente meno rilevante grazie alla composizione differente degli agenti chimici all'interno della batteria. Grazie al preconditionamento della batteria già durante la procedura di carica e una regolazione della temperatura ottimizzata in base alle esigenze durante la marcia, questo potenziale difetto viene eliminato.

Imperativo assoluto: sicurezza.

Nell'ambito dello sviluppo e della progettazione dell'accumulatore di energia, era importante soprattutto garantire anche la sicurezza dei



passaggeri. In generale l'accumulatore di energia racchiude in sé un certo potenziale di rischio a causa delle elevate correnti e degli agenti chimici utilizzati che, reagendo a contatto l'uno con l'altro, potrebbero incendiarsi. La probabilità di un colpo elettrico o di un incendio viene eliminata per mezzo di numerosi provvedimenti. Da un lato nelle celle per batterie automotive vengono utilizzati composti di agenti chimici notevolmente più "bonari" rispetto, ad esempio, alle batterie per i computer portatili. Inoltre, i moduli batteria vengono protetti in modo affidabile dalla carrozzeria, per impedirne il danneggiamento anche in caso di collisione. A ciò si aggiunge che refrigerante, complessi algoritmi e sensori di monitoraggio a bordo assicurano che la batteria non si surriscaldi né durante il funzionamento, né durante la carica. Meccanismi di disattivazione proteggono l'accumulatore di energia da uno scaricamento o un caricamento eccessivi ed addirittura anche la penetrazione dell'accumulatore di energia con oggetti metallici ha potuto essere prevista e controllata in modo da eliminarne la criticità.

Per tutta la vita dell'auto.

Al momento gli sviluppatori del BMW Group si occupano di assicurare la capacità maggiore possibile dell'accumulatore di energia. In questo ambito occorre tener conto di alcuni fattori che ne influenzano la vita utile. Una batteria invecchia da due punti di vista: prima di tutto dal punto di vista temporale, il che significa che, all'aumentare dell'età, anche la sua capacità e il massimo contenuto energetico utile si riducono. Ma ci sono anche altri fattori che influenzano la durata utile di una cella. Il livello di scarica (depth of discharge) oppure la temperatura a cui viene utilizzata la batteria rappresentano criteri rilevanti per l'invecchiamento. I test di sicurezza del BMW Group assicurano che le celle soddisfino le esigenze del cliente per l'intera vita utile dell'autovettura, sia per quanto riguarda la durata, che anche per quanto riguarda la cosiddetta ciclabilità. Inoltre, per quanto riguarda la sostenibilità, le batterie non riutilizzabili per un veicolo possono essere riciclate: persino se a un certo punto la capacità della batteria non dovesse più essere sufficiente per il funzionamento di un'autovettura rimane ancora potenza sufficiente per poterla utilizzare come accumulatore d'energia fisso per numerose applicazioni.

Sfide per il futuro.

Il futuro dell'elettromobilità sta nell'evoluzione dell'accumulatore di



energia. Pertanto, gli sviluppatori BMW lavorano alacremente alla costruzione di un accumulatore più compatto, meno costoso e più leggero. Ma il primo obiettivo è soprattutto quello di generare il maggiore quantitativo possibile di energia per raggiungere un'autonomia superiore. Attualmente la densità energetica dell'accumulatore di energia di una vettura elettrica non è ancora paragonabile a quella di un serbatoio di carburante pieno. Un accumulatore ad alta tensione da 22 kWh contiene un equivalente energetico di circa 2,5 litri di benzina super. In proporzione i valori di autonomia possibili al momento sono più ridotti. Un motore elettrico, tuttavia, lavora in modo più efficiente: grazie al rendimento notevolmente superiore (fino al 96%) – nel migliore dei casi un motore a combustione raggiunge il 40% – il motore elettrico con poca energia arriva parecchio più in là di una vettura con motorizzazione analogica equipaggiata con motore a scoppio. Grazie all'efficienza straordinariamente elevata, per molti l'autonomia attualmente raggiunta è già sufficiente per l'uso di tutti i giorni. Come mostrano i primi risultati degli studi di utilizzo della MINI E, il 90% degli utenti tester ha potuto conservare il 100% della propria mobilità con l'autonomia disponibile attualmente.

Provvedimenti per aumentare l'autonomia.

Tuttavia, la domanda centrale rimane: come riuscire a incrementare ulteriormente l'autonomia? Una delle possibilità è aumentare la capacità della batteria. Una batteria più grande, tuttavia, renderebbe anche la vettura più pesante, il che tornerebbe a limitare l'autonomia. Analogamente, non è possibile aumentare la dimensione della batteria a piacere, dato che da un certo punto in poi il peso aggiuntivo della batteria annullerebbe l'autonomia supplementare ottenuta. Di conseguenza gli ingegneri del BMW Group cercano di sfruttare il più possibile la capacità della batteria a disposizione. Il più importante provvedimento in questo senso è la riduzione del peso della vettura per quanto possibile con il rigoroso ricorso alla costruzione leggera e un utilizzo intelligente dei materiali (ved. anche cap. 4). Inoltre, le batterie vengono scaricate il più possibile. L'intervallo utile delle celle batteria del BMW Group oscilla tra 400 e 250 Volt, il che corrisponde grosso modo all'85% dell'energia disponibile della batteria. Uno scaricamento ancora maggiore non è possibile, perché altrimenti a causa del cosiddetto scaricamento profondo si inserirebbero processi chimico-fisici che danneggerebbero irreparabilmente le celle della batteria.



"Risparmiamo su ogni kilowattora che riusciamo a spremere dalla batteria. Vogliamo rendere il funzionamento più efficiente che mai." (Patrick Müller)

Accanto alla propulsione però richiedono energia anche funzioni come illuminazione, climatizzazione e Infotainment. Mentre nel caso di una vettura con motore a scoppio questi utilizzatori secondari vengono a malapena presi in considerazione, per quanto riguarda una vettura elettrica vanno senz'altro ad incidere sul piano dell'autonomia. Una vettura in modalità urbana ha bisogno in media di circa soli 2,5 kW per muoversi, viceversa l'impianto di climatizzazione a pieno regime può richiedere fino a 5 kW. Si cerca quindi di ridurre il più possibile il consumo energetico mediante regolatori di carica intelligenti e strategie di utilizzo efficienti. Ad esempio, la vettura può venire climatizzata già durante la carica, così che in marcia la capacità della batteria rimanga a disposizione quasi esclusivamente per la locomozione. Un comodo effetto collaterale della strategia di carica intelligente è inoltre il comfort di poter salire su una vettura già piacevolmente climatizzata sia in estate che in inverno. Tra i metodi per l'aumento dell'autonomia in marcia figurano la disattivazione degli utilizzatori non necessari oppure la possibilità di lasciar "veleggiare" la vettura in modo mirato, sfruttando il dinamismo intrinseco della vettura e lasciando andare l'auto senza utilizzare il motore. A lungo termine gli sviluppatori vedono il futuro nell'evoluzione dell'accumulatore di energia fino al raggiungimento di una densità energetica superiore.

Range Extender – piccoli motori, grande autonomia.

Un provvedimento speciale per l'incremento dell'autonomia è rappresentato dal cosiddetto "Range Extender": un motore a scoppio produce corrente mediante un generatore al fine di ricaricare la batteria in marcia oppure di mantenerla ad un livello di carica costante. In questo modo è possibile configurare una portata supplementare considerevole. Dal momento che a bordo è già presente una vera e propria macchina elettrica, questo motore a scoppio può essere relativamente piccolo. Studi mostrano che per il normale funzionamento in marcia in media è assolutamente sufficiente una potenza tra 20 e 30 kW. In quest'ordine di grandezza il Range Extender mette a disposizione energia sufficiente per poter mantenere il profilo di guida desiderato senza dover consumare inutilmente troppo carburante. Grazie a componenti elettrici del propulsore costruiti con struttura compatta e nuove architetture automotive è stato facile integrare il Range Extender.



Tra le soluzioni a breve termine assolutamente plausibili per incrementare l'autonomia per il BMW Group il Range Extender rappresenta comunque ancora solo un compromesso. A lungo termine gli sviluppatori del BMW Group puntano chiaramente sull'evoluzione della tecnologia della batteria. È indubbio che a causa di caratteristiche come la ridotta densità energetica e la portata limitata che ne risulta, pur con un peso relativamente elevato, al momento l'accumulatore d'energia risulta ancora il fattore limitante dell'elettromobilità. La forte accelerazione cui si assiste nel campo della tecnologia dell'accumulatore di energia automotive, ci induce a prevedere ulteriori balzi in avanti in questo settore.

"Si deve anche partire dal presupposto che nei prossimi anni avverranno ulteriori balzi in avanti della tecnologia. Presto saranno possibili autonomie superiori con batterie più piccole e più leggere. In questo momento ci troviamo nel bel mezzo di uno sviluppo in cui c'è ancora molto potenziale da sfruttare." (Patrick Müller)



4. Costruzione leggera e LifeDrive Concept.

Nuovi concetti di carrozzeria per le sfide di una nuova mobilità.

Muovere una vettura con energia elettrica non significa semplicemente sostituire il motore a scoppio con un propulsore elettrico. L'elettrificazione di una vettura è indissolubilmente legata a costose rielaborazioni di tutta la carrozzeria in quanto i componenti elettrici del propulsore impongono criteri del tutto nuovi per gli spazi all'interno del mezzo meccanico. Il lavoro di sviluppo sui progetti MINI E e BMW Concept ActiveE ha ben presto mostrato che le Conversion Cars – ossia vetture concepite per il funzionamento con motore a scoppio e che sono state riconvertite per il funzionamento ad energia elettrica – non consentono soluzioni ottimali a lungo termine per le esigenze dell'elettromobilità. Queste vetture sono state e sono tuttora molto importanti per raccogliere informazioni sull'uso e il funzionamento delle vetture elettriche, ma l'integrazione di un propulsore elettrico in un ambiente automotive estraneo non sfrutta idealmente il potenziale dell'elettromobilità. Le Conversion Cars sono relativamente pesanti e l'alloggiamento dei moduli batteria, pesanti e ingombranti, nonché la speciale elettronica del propulsore sono complessi da progettare, dal momento che i fattori costruttivi all'interno delle vetture si basano su presupposti del tutto differenti.

Era quindi necessario sviluppare un nuovo concetto di carrozzeria, che trattasse in modo mirato tutte le particolarità tecniche di un propulsore elettrico e, inoltre, gestisse in modo ottimale tutti i requisiti importanti per la sicurezza. Ma come deve essere la struttura razionale e funzionale della carrozzeria di una vettura elettrica?

La costruzione leggera nelle vetture elettriche.

Una carrozzeria oggi non deve più essere solo stabile, deve essere soprattutto anche leggera. La costruzione leggera è di grande importanza soprattutto per le vetture con propulsore elettrico perché, accanto alla capacità della batteria, il fattore limitante dell'autonomia è il peso della vettura. Più leggera è una vettura, più grande è l'autonomia – solo perché il mondo del motore elettrico deve mettere e mantenere in movimento una massa inferiore. Con l'accelerazione ogni singolo chilogrammo si traduce in modo fin



troppo evidente in un'autonomia inferiore, ed è proprio in città, l'ambiente di utilizzo principale di una vettura elettrica, che a causa dell'elevata incidenza del traffico occorre accelerare più spesso.

Accanto a una portata superiore, un peso della vettura inferiore comporta inoltre prestazioni di guida sensibilmente migliori. Infatti, una vettura leggera accelera più rapidamente, percorre le curve con maggiore agilità e arriva prima all'arresto in frenata. La costruzione leggera consente quindi livelli superiori di piacere di guida, agilità e sicurezza. Inoltre, grazie alla massa accelerata inferiore, le strutture per l'assorbimento dell'energia in caso di impatto possono essere ridotte, il che ancora una volta incide sulla riduzione del peso.

Pertanto, occorre da subito contenere al massimo il peso complessivo di una vettura elettrica. Ciononostante, come si può immaginare, i presupposti correlati alla tipologia costruttiva sono sfavorevoli: in una vettura elettrica la catena cinematica pesa notevolmente di più rispetto a quella di un'automobile con motore a scoppio, incluso serbatoio pieno. Quindi il propulsore elettrico, batteria inclusa, pesa circa 100 kg in più. Questo è dovuto soprattutto al peso della batteria. Per compensare questo svantaggio, il BMW Group punta su una costruzione leggera rigorosa e su un uso innovativo dei materiali. A seconda delle esigenze e dell'area di impiego, per ciascun componente gli ingegneri del BMW Group sfruttano il materiale in modo ottimale. Ed effettivamente gli sviluppatori sono riusciti a fare in modo che l'ingombro della batteria nel complesso "pesi relativamente".

"La costruzione con materiale leggero è un fattore di forte agevolazione dell'elettromobilità, dal momento che è in grado di compensare gli svantaggi causati dal peso dell'accumulatore d'energia." (Bernhard Dressler)

Purpose Design – il concetto LifeDrive (orientato all'obiettivo senza compromessi).

Eppure la costruzione leggera è solo una, seppur molto importante, delle sfaccettature del lavoro di sviluppo nella moderna costruzione della carrozzeria. Con l'elettrificazione completa di una vettura gli ingegneri del BMW Group sfruttano ora la possibilità di ripensare completamente l'architettura dell'automobile e di adattarla ai requisiti e alle condizioni della mobilità di domani. Con il concetto LifeDrive hanno creato un'idea rivoluzionaria di carrozzeria nel Purpose Design, che si orienta in modo coerente



all'obiettivo e al campo di utilizzo successivi della vettura e che ha in serbo un utilizzo innovativo dei materiali.

Analogamente a quanto accade per le vetture con struttura costruttiva a telaio, il concetto del LifeDrive è composto da due moduli orizzontali indipendenti. Il modulo "Drive", lo chassis, costituisce la base stabile e integra batteria, propulsore e funzioni strutturali e anticollisione di base in un'unica struttura. La controparte, il modulo "Life", consta essenzialmente della cella ad alta resistenza e ultraleggera in materiale plastico rinforzato con fibra di carbonio (CFRP). Con questo concetto innovativo, il BMW Group attribuisce una dimensione completamente nuova a tematiche come la costruzione leggera, l'architettura del veicolo e la sicurezza in caso di collisione.

"Il concetto LifeDrive collega tutti i sistemi necessari per la guida con le condizioni e i requisiti dell'elettromobilità, implementandoli tipicamente in un approccio BMW Group del tutto nuovo." (Uwe Gaedicke)

Il modulo Drive – la base, il fondamento stabile.

Il modulo Drive coniuga in sé svariate funzioni sulla base di una struttura portante in alluminio, stabile e leggera: si tratta della carrozzeria di base con scocca, elementi di protezione da collisione, accumulatori di energia e unità di propulsione, tutto in uno. Con circa 250 kg e dimensioni analoghe a quelle di un materasso per bambini, l'accumulatore di energia è l'elemento trainante del design integrativo e funzionale del modulo Drive. Nella concezione in un primo momento si è mirato a integrare la batteria, in quanto fattore costruttivo ingombrante e importante della vettura elettrica, in modo da risultare sicura sia per il funzionamento che anche in caso di collisione all'interno della struttura del veicolo.

Il modulo Drive si suddivide quindi in tre parti. La parte centrale alloggia la batteria, circondandola in sicurezza con resistenti profili in alluminio. Le due strutture anticollisione attive dell'avantreno e del retrotreno assicurano la necessaria zona deformabile in caso di impatto frontale o posteriore. Sul modulo Drive si trovano anche componenti dell'unità elettrica di propulsione e numerosi componenti del telaio. Dal momento che complessivamente il propulsore elettrico presenta una struttura molto più compatta rispetto a un



motore a scoppio analogo, motore elettrico, cambio, elettronica di potenza e assali possono venire alloggiati mediante soluzioni raffinate e in uno spazio molto contenuto.

Il modulo Life – la nuova dimensione del CFRP.

Il concept del LifeDrive viene completato dal modulo Life, la cellula dell'abitacolo che si appoggia alla struttura portante del modulo. La grande particolarità consiste nel fatto che il modulo Life è realizzato essenzialmente in plastica rinforzata in fibra di carbonio – in breve CFRP. L'uso di materiale hightech in quest'ordine di grandezza per la produzione in grande serie di un'automobile non ha precedenti, l'uso estensivo del CFRP fino ad ora è apparso ancora troppo caro, la lavorazione e la produzione non sufficientemente flessibili. Ma dopo oltre 10 anni di intenso lavoro di ricerca e ottimizzazione dei processi, ora il BMW Group è l'unica casa automobilistica a disporre dell'esperienza di produzione necessaria per utilizzare il CFRP nella produzione di grandi serie. Rispetto all'acciaio il CFRP presenta numerosi vantaggi, è molto stabile ma allo stesso tempo estremamente leggero. A parità di resistenza, risulta quindi circa del 50% più leggera dell'acciaio. Viceversa l'alluminio rispetto all'acciaio consentirebbe di risparmiare "solo" un 30% del peso. Il CFRP è quindi il materiale più leggero utilizzabile nella costruzione della carrozzeria senza penalizzare la sicurezza.

Mediante l'uso estensivo del materiale hightech, il modulo Life diventa molto leggero, consentendo un'autonomia superiore e al contempo prestazioni di guida migliori. A ciò si aggiunge che il comportamento in strada ne trae evidenti vantaggi: l'elevata rigidità del materiale rende l'esperienza di guida più diretta, anche le manovre rapide possono essere realizzate senza problemi. Contemporaneamente, il CFRP consente un comfort di guida superiore, in quanto la carrozzeria rigida ammortizza perfettamente le sollecitazioni. Quindi in marcia non si verificano vibrazioni di disturbo, nulla si scuote od oscilla.

Eppure il modulo Life non si limita ad essere molto leggero, ma consente di percepire e strutturare l'abitacolo di un'autovettura in modo del tutto nuovo. Grazie all'integrazione di tutti i componenti del propulsore nel modulo Drive viene a mancare l'ingombrante tunnel cardanico finora necessario nell'abitacolo attraverso il quale la forza motrice veniva trasferita alle ruote posteriori. In questo modo a parità di passo il Megacity Vehicle (MCV) offre uno spazio notevolmente superiore per i passeggeri. Questa nuova



struttura consente anche l'integrazione di nuove funzionalità, permette nuovi livelli di libertà nell'architettura e quindi l'opportunità di adattare l'abitacolo in modo ottimale alle esigenze della mobilità urbana.

Il CFRP come materiale per la costruzione della scocca.

Come materiale per la costruzione della scocca di un'autovettura, il CFRP presenta numerosi vantaggi: il materiale è straordinariamente resistente alla corrosione. Non arrugginisce ed è pertanto notevolmente più longevo del metallo. Possono essere eliminati costosi provvedimenti di protezione dalla corrosione. Inoltre, il CFRP rimane stabile in presenza di qualsiasi condizione climatica.

Il segreto di questo materiale ad alta resistenza sono le fibre di carbonio, per la loro caratteristica di altissima resistenza allo strappo nel senso della lunghezza. Trasformandole in roving e immergendole in materiale plastico (matrice plastica), si ottiene un materiale composito fibrorinforzato CFRP. In stato asciutto, esente da resina, è possibile lavorare il CFRP praticamente come fosse un tessuto, il che mantiene molto flessibili le possibilità offerte dalla modellazione. Solo mediante l'indurimento della resina iniettata nel tessuto il collegamento riceve la propria forma finale rigida e diventa quindi almeno altrettanto stabile dell'acciaio – e questo pure in presenza di un peso notevolmente inferiore.

L'elevata resistenza allo strappo lungo le fibre consente, inoltre, di ottenere miratamente strutture ad alta resistenza nel loro senso di carico. Per far questo le fibre vengono ordinate all'interno del componente sulla base delle curve dei carichi. Sovrapponendo il senso delle fibre è anche possibile realizzare componenti resistenti ai carichi in più direzioni. Ne consegue che i componenti possono essere progettati in modo molto più efficiente ed efficace che con qualsiasi altro materiale ugualmente sollecitabile in tutte le direzioni, come può essere il metallo. Con questo metodo è possibile ridurre ancora una volta materiale e peso per conseguire nuovi potenziali di risparmio: grazie alla minore massa accelerata in caso di impatto, si possono ridurre le strutture per l'assorbimento dell'energia ancora una volta a favore di un contenimento del peso.



"Il CFRP offre la possibilità di costruire una scocca molto leggera senza dover scendere a compromessi su comfort e sicurezza." (Bernhard Dressler)

Costruzione leggera e sicurezza – con il CFRP "più leggero" diventa sinonimo di "più sicuro".

Accanto alla costruzione leggera, anche la sicurezza dei passeggeri ha giocato un ruolo importante nello sviluppo del concetto LifeDrive. Gli attuali requisiti di una carrozzeria in caso di incidente sono molto elevati, dato che occorre tener conto di numerosi scenari di impatto. Normalmente questo pone lo sviluppatore di fronte a sfide importanti proprio nell'utilizzo di nuovi materiali. La combinazione di materiali del modulo Drive in alluminio con il CFRP della cella di sopravvivenza del modulo Life ha superato tutte le aspettative già nei primi test, dimostrando chiaramente che costruzione leggera e sicurezza non si trovano in contraddizione!

"Costruzione leggera non significa necessariamente "non sicura", al contrario: il concetto LifeDrive nei crash test ha dimostrato di essere in parte addirittura superiore alle strutture attuali." (Nils Borchers)

Grazie alla caratteristica di riuscire ad assorbire un'enorme quantità di energia con un'elevata resistenza, il CFRP è molto poco sensibile al danneggiamento. Subisce a malapena deformazioni, persino ad alte velocità d'impatto. In questo modo, in analogia al cockpit di una Formula 1 il materiale estremamente rigido garantisce uno spazio di sopravvivenza ad alta stabilità. Oltre a questo, in caso di impatto frontale o posteriore la scocca rimane intatta e le portiere continuano ad aprirsi senza alcun problema anche dopo l'impatto.

La migliore protezione in caso di impatto laterale.

La capacità di assorbimento di energia del CFRP è straordinaria. L'impressionante comportamento del CFRP rispetto alla sicurezza si evidenzia soprattutto nel caso di impatti con pali e urti laterali. Nonostante le forze elevate, in parte ad azione puntiforme, il materiale si ammacca a mala pena. I passeggeri godono di una protezione eccellente. Ne segue che il CFRP è idealmente destinato all'uso nelle zone laterali della vettura, dove ogni centimetro di abitacolo intonso è prezioso.

"Per distruggere il CFRP servono forze molto elevate oppure accelerazioni molto alte. Molto più di quanto si potrebbe pensare a un primo sguardo." (Bernhard Dressler)



Certo, il CFRP non è sollecitabile all'infinito. Se le forze agenti superano i limiti della resistenza del materiale, l'accoppiamento delle fibre si sfalda in modo controllato nei singoli componenti.

Il meglio dei due mondi – la combinazione di alluminio e CFRP.

Anche il nuovo modulo Drive è stato concepito e strutturato miratamente per requisiti di impatto elevati. Un'ulteriore sicurezza viene garantita in questi casi da strutture attive in alluminio nell'avantreno e nel retrotreno della vettura. In caso di impatto frontale o posteriore assorbono la gran parte dell'energia in gioco. Per offrirle il massimo della protezione, la batteria viene alloggiata nel sottoscocca. Sotto il profilo statistico, in caso di impatto un veicolo in questo punto deve assorbire la quantità in assoluto minore di energia, di conseguenza in questa zona subisce poche deformazioni. Inoltre, posizionando la batteria nel sottoscocca gli sviluppatori del BMW Group ottengono un baricentro basso ottimale, che rende la vettura molto agile e le impedisce di capottarsi.

In caso di impatto laterale la batteria beneficia anche delle caratteristiche antideformazione del modulo Life, dal momento che le forze vengono intercettate già tutte qui e non arrivano all'accumulatore d'energia. Mediante il mix dei materiali utilizzato, ossia alluminio nel modulo Drive e CFRP nel modulo Life, la batteria rimane perfettamente protetta anche nella zona dei batticchi.

"Il modulo Drive è la forma più sicura in cui una batteria può presentarsi."
(Hans-Jürgen Branz)

Nel complesso, la cella di sopravvivenza in CFRP ad alta resistenza in combinazione con la distribuzione intelligente delle forze nel modulo LifeDrive costituisce il presupposto essenziale per una protezione ottimale dei passeggeri. In questo modo il mix di materiali nel modulo LifeDrive è più sicuro di una scocca autoportante in acciaio. Il potenziale che ancora si nasconde nel materiale CFRP e nella combinazione con altri materiali viene illustrato per mezzo del testing. Già in questa fase sicuramente ancora iniziale, il materiale riesce a ottenere risultati migliori di altri materiali che si trovano in uno stadio decisamente più avanzato.

Vantaggi del LifeDrive.

Grazie al Purpose Design, il concetto LifeDrive integra tutte le particolarità dell'elettromobilità, come l'ingombrante batteria e gli elementi compatti



della propulsione, in una struttura resistente agli impatti. Ciononostante, i vantaggi del concetto LifeDrive non consistono semplicemente nel risparmio di peso, nell'autonomia superiore correlata con prestazioni di guida migliori e nella maggiore sicurezza. Scopriamo quanto di più si cela dietro al concetto LifeDrive se, accanto al prodotto, prendiamo in considerazione anche i relativi processi di produzione. Perché il principio LifeDrive consente l'adempimento di tutti i requisiti di un prodotto sostenibile all'interno di una catena di produzione sostenibile.

La struttura costruttiva a telaio è molto agevole fino a volumi di produzione medi e consente un'elevata flessibilità grazie a cicli di lavoro paralleli. La nuova architettura della vettura rende possibili processi di produzione completamente nuovi, più semplici e che richiedono meno energia. Ne consegue che la separazione orizzontale dei moduli consente una produzione separata dei due elementi, che quindi possono essere combinati in un semplice processo di montaggio praticamente ovunque nel mondo.

"Dal mio punto di vista attraverso il lavoro di sviluppo degli ultimi anni si è evidenziato chiaramente che il concetto LifeDrive al momento è LA soluzione per soddisfare tutti i requisiti dell'elettromobilità e al contempo sfruttare al meglio i suoi potenziali insiti." (Uwe Gaedicke)



5. CFRP – un materiale per il futuro.

Da molto tempo ormai non è più neppure possibile pensare all'industria aerospaziale o agli sport motoristici senza plastica rinforzata con fibre di carbonio (CFRP). Gli ingegneri sfruttano sempre più i vantaggi del CFRP, in particolare laddove si richiede un materiale estremamente resistente, ma ciononostante leggero, con elevati valori di rigidità e robustezza. Ecco perché anche gli esperti del Landshuter Innovations- und Technologiezentrum (LITZ) si occupano in modo intensivo da oltre 10 anni di questo materiale tecnologico. Grazie al pluriennale lavoro di sviluppo e al trasferimento nella produzione di serie, il BMW Group ha introdotto nel settore automotive un know-how straordinario per quanto riguarda processi, utensili e lavorazione, nonché un alto grado di industrializzazione nella produzione del CFRP. Ma cos'è che rende questo materiale tanto speciale?

L'incredibile leggerezza e la stabilità simile a quella dell'acciaio.

La plastica rinforzata con fibra di carbonio (CFRP) è un materiale composito costituito da fibra di carbonio annegata in una matrice di plastica (resina). Il CFRP è difficilmente paragonabile ad altri materiali. Coniuga in sé numerose caratteristiche positive uniche in questa combinazione. Il CFRP innanzitutto è estremamente rigido e resistente – e questo pur con un peso straordinariamente ridotto. Quanto meno a parità di funzionalità, il CFRP pesa circa la metà dell'acciaio ed è sempre più leggero dell'alluminio di un 30%. Inoltre, il materiale resiste alla corrosione, agli acidi e ai solventi organici, quindi è notevolmente più longevo del metallo. A ciò si aggiunge che rimane stabile a tutte le condizioni climatiche e si deforma a malapena anche in presenza di elevate oscillazioni termiche.

Costruzione leggera senza compromessi per la sicurezza.

L'alta resistenza del materiale si sposa alle eccezionali caratteristiche di isolamento e a un'alta resilienza. Il CFRP possiede un'impressionante capacità di assorbimento dell'energia e quindi si danneggia molto difficilmente. I componenti della carrozzeria in CFRP non sono semplicemente molto leggeri, ma evidenziano un comportamento esemplare in caso di impatto. Il CFRP si dimostra essere il materiale più leggero utilizzabile nella



costruzione della carrozzeria senza dover penalizzare la sicurezza. Tuttavia, il materiale non è certo sollecitabile all'infinito. Se le forze agenti superano i limiti della resistenza del materiale, l'accoppiamento delle fibre si sfalda in modo controllato nei singoli componenti.

"Per distruggere il CFRP servono forze molto elevate oppure accelerazioni molto alte. Molto più di quanto si potrebbe pensare a un primo sguardo."
(Bernhard Dressler)

Taglio su misura in base al carico dei componenti.

Il segreto di questo materiale ad alta resistenza sono le fibre di carbonio. Contrariamente ai metalli quasi isotropici come l'alluminio o l'acciaio, che sono caricabili allo stesso modo in tutte le direzioni spaziali, le fibre di carbonio sono anisotrope. In analogia ad una barra, sopporta carichi estremi soprattutto in una direzione, ossia quella relativa a trazione e pressione. Il vantaggio decisivo è il seguente: dal momento che in un componente non subentrano mai carichi in tutte le direzioni spaziali in tutti i punti contemporaneamente, questa speciale caratteristica consente un taglio su misura dei componenti specificamente adattato alla sollecitazione. Come la natura, che distribuisce il materiale nelle ossa o nelle piante solo laddove è veramente necessario, gli esperti del BMW Group confezionano i componenti in CFRP con l'orientamento e lo spessore strettamente necessari. Per far questo dispongono le fibre nella dovuta quantità nel senso della/e successiva/e direzione/i di carico. Con questo sistema il componente viene strutturato in base a parametri predefiniti e allo stesso tempo resta molto leggero.

"Il CFRP consente un utilizzo efficiente del materiale per livelli di stabilità e funzionalità ottimali, pur con un peso minimo." (Bernhard Dressler)

L'uso di CFRP è più di una semplice sostituzione di materiale, così come, ad esempio, l'acciaio può essere sostituito dall'alluminio. Grazie alle sue speciali caratteristiche, il materiale high-tech consente modalità di approccio completamente nuove e quindi anche nuovi concetti strutturali. Proprio sotto il profilo dell'elettromobilità, il CFRP offre un grande potenziale come materiale da costruzione per la carrozzeria, dal momento che il suo ridotto peso consente un rapporto peso/potenza superiore e quindi un'autonomia maggiore. Mediante l'uso intelligente di plastica rinforzata con fibra di carbonio, e nella misura in cui si è davvero compreso il materiale, è



possibile migliorare enormemente numerosi prodotti realizzati con costruzione leggera.

"Solo un corretto utilizzo del CFRP dà vita alla costruzione leggera." (Jochen Töpker)

Competenza tecnologica del BMW Group.

Il fatto che finora il CFRP sia stato utilizzato solo in piccole serie o prototipi ha più motivazioni. Normalmente i componenti composti da questo materiale piuttosto giovane finora venivano realizzati soprattutto a mano e con un dispendio di tempo molto elevato. I costi a ciò correlati e i lunghi tempi di ciclo nella produzione e nella lavorazione fino ad ora avevano ostacolato la produzione di grandi serie. Dal 2003, tuttavia, il BMW Group produce componenti in CFRP nell'ambito di produzioni industrializzate di serie in quantità sempre maggiori. Frattanto, a Landshut vengono realizzati addirittura i tettucci per i modelli BMW M3 e M6 e il supporto paraurti dell'M6 in produzione industrializzata.

Mediante l'intenso sviluppo dei materiali e dei processi, negli ultimi 10 anni il BMW Group ha acquisito una competenza molto elevata nei processi di produzione specifici del CFRP, nell'utilizzo mirato degli utensili e nell'ottimizzazione dei tempi di ciclo. Gli specialisti del BMW Group sono riusciti a perfezionare e automatizzare il processo di produzione dei componenti in CFRP presso lo stabilimento di Landshut in modo tale che ora, per la prima volta, è possibile produrre in grande serie, in modo economicamente efficiente e con alto livello di qualità, anche i componenti per carrozzeria in materiali rinforzati con fibra di carbonio. In questo modo gli specialisti di processo del Landshuter Innovations- und Technologiezentrum (LITZ) hanno creato una delle basi scientifiche per un uso intensificato di materiali fibrorinforzati per la carrozzeria di automobili. Qui il BMW Group svolge un importante lavoro pionieristico per riuscire a sfruttare in modo ancora maggiore il potenziale del materiale in futuro.

Produzione ultramoderna presso il BMW Group.

La modalità di produzione attualmente ancora molto utilizzata in cui semilavorati in fibra prima imbevuti nella resina - i cosiddetti prepreg - vengono addotti alla lavorazione e successivamente completati in autoclave, ossia un forno gigantesco, non è praticabile per la produzione



industriale di grandi serie di automobili. Conseguentemente già nell'anno 2003 presso il BMW Group è iniziata una nuova generazione della lavorazione in serie del CFRP che consente una produzione di serie ad alto livello. Ultramoderna e con tempi ciclo molto brevi. In questo caso la produzione CFRP non è in alcun modo vincolata esclusivamente alla sede di Landshut, al contrario è realizzabile teoricamente presso tutte le sedi BMW del mondo con solo pochi prerequisiti. Ma come nasce un componente in CFRP presso il BMW Group?

Dalle fibre al roving.

Il punto di partenza della produzione del CFRP è il cosiddetto "precursor". Questa fibra tessile termoplastica in poliacrilonitrile costituisce la base per il processo di produzione. In un complesso processo multifase, a svariate condizioni di temperatura e pressione tutti gli elementi delle fibre vengono separati in forma gassosa fino ad ottenere una fibra con una struttura grafitea costituita praticamente quasi solo da carbonio puro. Le fibre di carbonio generate presentano uno spessore di appena sette micrometri (0,007 millimetri), laddove invece un capello umano misura circa 50 micrometri. Per l'uso nel campo automotive circa 50.000 di questi singoli filamenti vengono poi riuniti in cosiddetti "roving" o "heavy tow" e avvolti per l'ulteriore lavorazione. Accanto alle applicazioni automobilistiche fasci di fibre di questo spessore vengono utilizzati, ad esempio, anche per le grandi pale dei rotori per impianti dell'energia eolica.

Nella fase di processo successiva i fasci di fibre vengono lavorati in roving. Contrariamente a un tessuto, nella produzione del roving le fibre non vengono incrociate e filate tra loro, ma disposte fianco a fianco su un piano. La filatura incurverebbe le fibre e quindi in parte tornerebbe a compromettere le eccellenti caratteristiche del materiale. Solo l'orientamento delle fibre nel roving assicura le caratteristiche ottimali di un componente CFRP.

Preformare e confezionare – per una forma perfetta.

Il roving tagliato a misura, ma ancora piano, nel cosiddetto processo di preformatura riceve la forma che dovrà avere in seguito. Contestualmente una superficie riscaldante applica al pacchetto di strati un contorno tridimensionale stabile. È già possibile riconoscere in modo chiaro quella che sarà la successiva forma del componente. Un certo numero di questi pacchetti di strati preformati (preforme) può poi essere combinato in un



componente più grande. In questo modo con il CFRP, ad esempio, è possibile produrre componenti per carrozzeria altamente integrati e di grande superficie che altrimenti potrebbero essere realizzati solo in alluminio o in lamiera d'acciaio con costi notevoli. Questo presenta rilevanti vantaggi per la costruzione e la produzione della carrozzeria: diverse funzioni, come ad esempio gli elementi di fissaggio, possono essere integrati direttamente nel componente. Perfino elementi strutturali complessi e interi gruppi carrozzeria con pareti di spessore differente possono quindi essere realizzati con un unico stampo.

In entrambe le fasi del processo della preformatura e del confezionamento, la grande sfida consiste nel rendere un tessile flessibile talmente maneggevole, da consentire alla struttura della preforma di rimanere stabile e ai pezzi grezzi di essere congiunti con estrema precisione nell'ambito del confezionamento. Anche in questo caso il BMW Group ha acquisito, nel corso degli anni, una competenza preziosa.

Resina sotto alta pressione con il Resin Transfer Moulding (RTM).

Le preforme confezionate vengono poi addotte alla fase di processo successiva, ossia all'iniezione della resina. Per fare in modo che le strutture stratificate preformate mantengano in modo permanente la propria forma predefinita serve il secondo importante materiale per l'accoppiamento: la resina. Nel Resin Transfer Moulding (RTM) la resina viene iniettata nelle preforme sotto alta pressione. Solo tramite collegamento delle fibre con la resina e il successivo indurimento il materiale riceve la propria rigidità e quindi le proprie eccellenti caratteristiche.

L'impregnatura delle fibre con resina è un processo altamente complesso, carico di requisiti contrastanti. Da un lato, la resina deve penetrare in ogni punto del materiale in tempo molto breve, bagnando ogni fibra fino al livello microscopico. Pertanto, la resina deve presentare la viscosità minore possibile, ossia essere sufficientemente liquida per potersi distribuire con rapidità in tutto il roving. Dall'altro lato la resina deve indurirsi il più rapidamente possibile, ossia non appena tutto il materiale viene impregnato. Inoltre, un distaccante deve assicurare che i componenti resinati possano essere rimossi dagli stampi senza danneggiarli – evitando, tuttavia, di compromettere il legame tra fibra e resina. Risolvere e realizzare contemporaneamente queste situazioni contrastanti è molto complesso. In proposito il BMW Group ha sviluppato



concetti di processo, utensili e impianti propri che risolvono questo conflitto di obiettivi e consentono un'elevata produttività mantenendo allo stesso tempo un livello elevato di qualità.

L'impregnatura del roving con resina è un processo nel quale si uniscono circa dieci singole sostanze materiali che però non devono assolutamente reagire fra loro. Inoltre, deve verificarsi l'unione di roving di fibra di carbonio, resina, indurente, legante, filo di sutura, distaccante e altri materiali, sia sulla grande superficie che a livello microscopico. In questo caso la sfida superiore è insita nel lavoro con il materiale composito in fibra, dal momento che la qualità del materiale è buona solo nella misura in cui lo è il collegamento tra resina e fibre.

Lavorazione finale – molatura di precisione con getto d'acqua.

Dopo l'iniezione della resina e l'indurimento il componente è quasi pronto. Mancano da svolgere ancora solo i lavori di precisione, come il taglio a misura pulito del contorno del componente e la realizzazione delle aperture ancora mancanti. Questa lavorazione finale presso il BMW Group viene svolta da un impianto di taglio a getto d'acqua. Dal momento che il componente CFRP finito dopo la resinatura già possiede la sua stabilità completa, e quindi la resistenza, le frese tradizionali per la lavorazione finale avrebbero vita breve e dovrebbero venire sostituite spesso per via dell'elevato grado di usura. Il taglio a getto d'acqua, viceversa, consente un taglio e una perforazione in assenza di usura, anche se è necessario modificarlo per consentire la lavorazione del CFRP. Il BMW Group ha quindi ulteriormente ottimizzato questo procedimento.

"Mediante il nostro procedimento di produzione perfezionato siamo in grado di mettere a disposizione il componente esattamente come lo vuole il costruttore e come richiede il prodotto." (Andreas Reinhardt)

Riciclaggio – dagli sfridi nasce un nuovo componente strutturale.

Ma il BMW Group pensa oltre il ciclo del prodotto e, nel corso dei lavori di sviluppo, ha elaborato e valutato svariati concetti correlati a riciclaggio e recupero. Finora non era ancora possibile utilizzare in modo ottimale i residui del pregiato materiale. Ma adesso il BMW Group ha sviluppato fino alla maturità di serie un concetto di riciclaggio degli scarti di produzione puri unico in tutto il mondo, che consente di reintrodurre nei processi una percentuale sostanziale delle fibre. Mediante lo speciale processo di



trattamento si torna ad ottenere un tessile addirittura in grado di coprire il fabbisogno di fibre primarie. Il riutilizzo presenta addirittura un doppio valore, perché un quantitativo inferiore di rifiuti da un lato implica un carico inferiore sull'ambiente e dall'altro un fabbisogno minore di materiale nuovo.

"Ci siamo posti come obiettivo di riutilizzare gli sfridi che si ottengono nei processi di produzione nei nostri stessi prodotti." (Andreas Reinhardt)

Presso il BMW Group la sostenibilità ecologica nel settore CFRP non si esprime semplicemente mediante il riciclaggio. Già per la produzione della fibra di carbonio nell'ambito della Joint Venture con SGL ACF (Automotive Carbon Fibers) il BMW Group si assicura che l'energia necessaria presso lo stabilimento di Moses Lake (USA) sia esclusivamente di tipo rigenerativo. Lo stabilimento definirà nuovi parametri anche per quanto riguarda l'efficienza energetica.

Metodi d'approccio unitari per un risultato ottimale.

Negli ultimi dieci anni tutti i processi, i materiali, gli impianti e gli utensili sono stati sviluppati dagli sviluppatori e dagli esperti CFRP al punto che ora è possibile una produzione di componenti CFRP in grande serie.

Contestualmente gli specialisti CFRP hanno sempre tenuto sotto controllo l'intera catena di processo e del valore. Dalla produzione di fibre fino al riciclaggio, finora il BMW Group ha mantenuto un'influenza non comune su tutti i processi. Perché solo così si garantisce che progressi puntuali possano ripercuotersi positivamente anche sull'intero ciclo.

Orientati alla produzione di serie fin dall'inizio.

Grazie a questo costante incremento dei numeri e allo sviluppo di procedimenti innovativi, il BMW Group dispone ora di un grande bagaglio di esperienze sotto forma di collaboratori, utensili e know-how di processo. Tuttavia, questo elevato grado di competenza è stato possibile perché fin dall'inizio si è mirato all'utilizzo del CFRP nella produzione industrializzata di grandi serie. Il BMW Group percepisce il CFRP non solo come applicazione di nicchia specifica di determinate autovetture, ma anche come tecnologia del futuro nella costruzione automotive. Ne segue che fin dall'inizio si è investito molto sulle prestazioni interne, qualificando collaboratori e processi interni all'azienda e consentendone un'evoluzione coerente. Grazie all'elevata autonomia e all'alta percentuale di prestazioni interne, il BMW Group è



praticamente indipendente da fattori esterni per l'intero processo di produzione. Il livello di maturità del processo di produzione si evidenzia soprattutto nell'elevata qualità dei componenti realizzati.

"Il presupposto dell'industrializzazione del CFRP NON è il testare la qualità a posteriori, bensì il produrla direttamente." (Jochen Töpker)

Per ulteriori informazioni si prega di rivolgersi a:

Tobias Hahn, Comunicazione tecnologica
telefono: +49-89-382-60816, fax: +49-89-382-28567

Internet: www.press.bmwgroup.com
e-mail: presse@bmw.de

