



PARTE 2: LA *LIBERTY WHEEL*, UN NUOVO CENTRO RUOTA^{1,2}

IL RITORNO DELLE RUOTE CERCHIATE?

Nella prima parte di questo articolo abbiamo dimostrato, all'uomo dell'officina ed al responsabile della sicurezza, che un nuovo disegno dell'accoppiamento tra cerchione e centro ruota nelle ruote cerchiato è non solo fattibile con gli usuali mezzi delle moderne officine meccaniche ma che garantisce un livello di sicurezza non inferiore della ruota cerchiata "convenzionale" (Figura 1).

Questa conclusione, provata in linea con un rotabile in condizioni di esercizio reali, ancorché per un breve lasso di tempo, ha dimostrato la possibilità pratica di contenere i tempi ed i costi della manutenzione dei rotabili con ruote cerchiato esistenti (sempre più residuali, peraltro) utilizzando attrezzature di basso costo praticamente in qualsiasi officina, anche quella più periferica e remota.

Ovviamente lo sviluppo di una tecnologia che avesse applicazione limitata alla "moribonda" residua flotta di veicoli con ruote cerchiato non

avrebbe alcun senso. È evidente quindi che lo scopo del lavoro è assai più alto: quello di fornire alle imprese ferroviarie l'opportunità di approvvigionarsi di veicoli con ruote cerchiato che possano rivelarsi assolutamente vincenti nei confronti delle ruote monoblocco.

Vincenti non solo nella manutenzione, bensì anche per tempi e costi di approvvigionamento dei centri ruota e dei cerchioni.

La supply chain delle sale montate

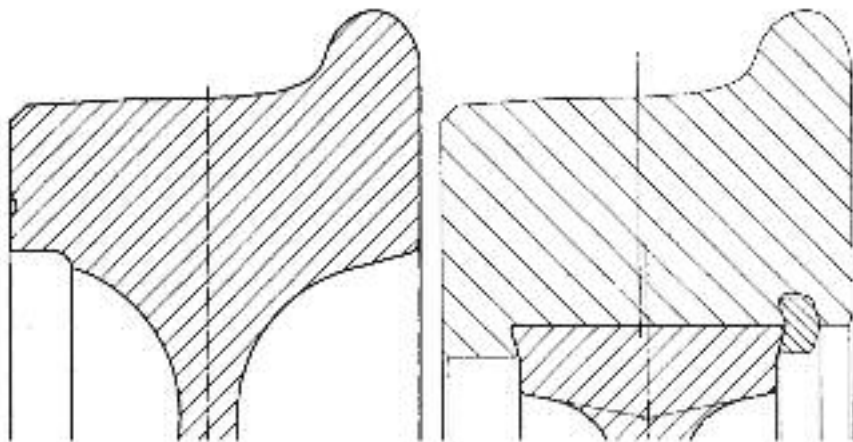
Le sale montate sono un elemento di sicurezza per il quale non sono concepibili ridondanze o elementi di salvataggio.

In buona sostanza, e non occorre evocare gli incidenti nei quali le sale montate si sono rotte, non esiste un "piano B": che si rompa una fusello, il corpo dell'asse, una ruota monoblocco per motivi termici o una boccola che brucia per mancanza di grasso, la conseguenza inevitabile è lo svio, con tutte le indeterminanze sugli esiti

**di Andrea Bracciali,
Gianluca Megna**

mobilità ruote e binari

Figura 1 - Sezione di una ruota monoblocco (a sinistra, massa 340 kg) e della stessa ruota cerchiata (a destra, massa 420 kg) con diametro a nuovo 940 mm. Nella ruota cerchiata si evidenziano facilmente il centro ruota, il cerchione ed il cerchietto di sicurezza



ultimi di un tale incidente. Non a caso, quindi, la progettazione, la produzione, la costruzione e la manutenzione delle sale montate sono oggetto di numerose normative e regolamenti che non è qui il caso di analizzare nel dettaglio. I produttori di sale montate europei realizzano assili forgiati e ruote monoblocco forgiate e laminate. Negli Stati Uniti, e in generale per il mondo *heavy haul*, cioè il trasporto esclusivo di materie prime con carichi assiali fino a 35 t/asse ed oltre, le ruote monoblocco sono fuse in acciaio. Questo tipo di tecnologia, diffusissima in tutto il mondo, non ha “preso piede” in Europa a causa della cultura delle reti ferroviarie storiche, tant’è che non esiste una vera e propria norma europea EN per le ruote fuse ma solo una *Technical Specification* (CEN/TS 13979-2).

Le imprese di trasporto pubblico hanno sovente grosse difficoltà a reperire parti di ricambio in numero limitato e con complesse procedure di approvvigionamento, peraltro condizionate dai ben noti problemi di budget del comparto pubblico, almeno in Italia.

Non è un mistero, infatti, che la crisi globale abbia ridotto grandemente le risorse a disposizione dei gestori del trasporto pubblico locale. Oggi gli esercenti si trovano molto spesso a dover esercire flotte di veicoli “vecchi” in quanto le risorse per acquistare veicoli nuovi possono risultare assai scarse. In questo scenario, l’approvvigionamento di numeri piccoli (o piccolissimi) di ruote monoblocco può risultare critico. Le ruote monoblocco sono prodotte con impianti complessi da un numero estremamente

ridotto di fornitori. I produttori di sale montate in Europa sono in numero limitato³, e per essi il business dei ricambi alle piccolissime flotte delle aziende di trasporto pubblico locale non è assolutamente attraente. La vertiginosa espansione dei mercati cinese, sudafricano, russo, indiano, etc., rende assai più appetibile la creazione di nuovi stabilimenti o apposite joint ventures in quei paesi rispetto alla fornitura di, poniamo, 8 centri ruota per il tram di una piccola città.

Congiunturalmente, peraltro, la recente ripresa del mercato, che fa seguito ad anni di contrazione, ha peggiorato ulteriormente le cose, saturando i produttori di sale montate e portando in numerosi casi all’allungamento dei tempi di consegna delle ruote. Anche le cosiddette operazioni di “ripristino” delle sale montate sono spesso esternalizzate, con indubbia riduzione dei costi interni ma con incremento dei costi di logistica e possibili allungamenti dei tempi di riconsegna. Di grande interesse è quindi risultata l’indagine volta a determinare se fosse possibile allargare, nel pieno rispetto della sicurezza, la pleora dei fornitori di ruote (o, meglio, di centri ruota), chiamando in gioco materiali e tecnologie diverse.

Un materiale “nuovo” per le ruote: la ghisa sferoidale austemperata

In meccanica la ghisa è un materiale che ha nicchie relativamente limitate. Sebbene venga riconosciuto un indiscutibile primato fra le ferroleghie in quanto a colabilità (*Cast irons are nature’s gift to foundrymen*, cioè le ghise sono un dono della natura al fonditore⁴), le caratteristiche meccaniche sono sempre di gran lunga risultate inferiori a quelle degli acciai. Nell’accezione corrente, la ghisa è fragile e facile da colare, buona per le panchine, i tombini, i lampioni, le ringhiere, etc., ma assolutamente inadatta per scopi strutturali con elevate sollecitazioni.

Il quadro è drasticamente cambiato quando, negli anni ’70, sono state combinate le tecnologie per la produzione della ghisa sferoidale (risalente al 1943) ad al trattamento termico di *austempering* (noto dagli anni ’30) per l’ottenimento della prima *Austempered Ductile Iron* (ADI), cioè la Ghisa Sferoidale Austemperata. Una delle più complete descrizioni delle proprietà della ghisa ASI recita⁵:

Quale materiale offre al progettista la migliore

combinazione di basso costo, flessibilità di progettazione, buona lavorabilità, elevato rapporto resistenza / peso e buona tenacità, resistenza all'usura e resistenza alla fatica? La ghisa sferoidale austemperata (ADI) può essere la risposta a questa domanda. La ghisa ADI offre questa combinazione superiore di proprietà perché può essere fusa come qualsiasi altro membro della famiglia delle ghise, offrendo così tutti i vantaggi di produzione di una fusione in ghisa convenzionale. Successivamente viene sottoposta al processo di austempering per produrre proprietà meccaniche superiori alla ghisa sferoidale convenzionale, all'alluminio fuso e forgiato e a molti acciai fusi e forgiati.

Non possiamo qui dilungarci sulle proprietà meccaniche delle ghise ADI, ma possiamo commentare che il loro uso è in diretta competizione con gli acciai legati da bonifica quale il 42CrMo5-6, quindi con proprietà meccaniche di tutto rispetto, mantenendo tutti i vantaggi tecnologici di produzione che consentono di ottenere getti di ottima qualità praticamente di qualsiasi forma!

Nel progetto che descriviamo in questa memoria la Zanardi Fonderie S.p.A. di Minerbe (Vr) ha avuto un ruolo fondamentale. Fra i pionieri dell'introduzione e dell'espansione delle ghise ADI in Italia, l'azienda ha finanziato una borsa di Dottorato di Ricerca che ha portato ai risultati che verranno esposti nei prossimi paragrafi.

Sebbene l'uso della ghisa ADI per produrre ruote ferroviarie monoblocco sia tutt'altro che nuova (risalendo di fatto agli anni '80 con numerosi esperimenti), recentemente il progetto Europeo *Shift2Rail* ha visto lo sviluppo di una ruota a razze fusa in ghisa ADI per usi metropolitani⁶.

Riteniamo che l'uso di tale materiale per la realizzazione di ruote monoblocco sia errato per due fondamentali motivi:

- anzitutto la realizzazione di una ruota monoblocco perpetua gli errori filosofici di questa soluzione, ossia il fatto che una volta che è consumata la "tavola di rotolamento" si butta via l'intera ruota, che va scalettata e quindi ricalcettata (una nuova, ovviamente) sull'asse;
- secondo, ma molto più importante, la ruota è un "costituente di interoperabilità" che, toccando le rotaie (infrastruttura) genera dei comportamenti che sono noti da decenni e che, con ogni probabilità, nessuno ha inten-

zione di andare a modificare pena correre il rischio di incorrere in rotture non previste (il comportamento a fatica da contatto volvente della ghisa ADI è noto? Come interagisce la *Rolling Contact Fatigue* con l'usura per questo materiale?

Abbiamo pertanto deciso di utilizzare la ghisa ADI per gli scopi descritti nel primo articolo: ci serviva un centro ruota facilmente fondibile, approvvigionabile senza grandi difficoltà da un elevato numero di potenziali fornitori, che non andasse a modificare lo status normativo attuale (si utilizzano infatti normalissimi cerchioni rispondenti alle vecchie Fiches UIC tutt'ora in vigore).

Il disegno di un nuovo centro ruota in ghisa ADI

Ovviamente, dato che tutte le ruote sono diverse, è stato preliminarmente necessario capire quale veicolo fosse potenzialmente più idoneo per la prova finale, ossia il montaggio dei prototipi e le successive prove in linea.

La filosofia ispiratrice l'intero progetto è quella di rivedere completamente l'utilizzo delle ruote cerchiate, che oggi potrebbero essere utilizzate su tutti i veicoli tranviari, metropolitani e ferroviari almeno fino a 160 km/h. È un dato di fatto che su questi veicoli, ad esclusione dei carri merci che sono di fatto obbligati all'uso delle ruote monoblocco termostabili, la frenatura a ceppi è o completamente assente o del tutto residuale.

L'assenza di *input* termico nel cerchione porta a due conseguenze cruciali:

- il centro ruota non deve essere realizzato "ondulato", come si faceva una volta, in quanto non è richiesta alcuna elasticità radiale che "accompagni" il cerchione durante i moti di dilatazione e di contrazione derivanti dalle lunghe frenate di ritenuta (durante le frenature di arresto le temperature di fatto salgono pochissimo);
- il cerchione può essere realizzato più sottile e con minore interferenza, a vantaggio della riduzione di massa globale della ruota cerchiata (un punto spesso strumentalmente cavalcato dai produttori di sale montate), minori sollecitazioni nel cerchione stesso ed un costo di approvvigionamento dei cerchioni ridotto⁷.

Grazie all'apporto fondamentale della società TRENORD s.r.l., è stato possibile individuare il veicolo su cui condurre la sperimentazione: una ALn668 del deposito di Cremona, mantenuta



mobilità ruote e binari



dall'Officina di Iseo (Bs), veicolo di massa assai ridotta (12 t/asse), equipaggiato ovviamente con ruote cerchiato⁸ e con frenatura a ceppi. Si è quindi iniziata la progettazione del centro ruota in ghisa ADI, considerando i casi di carico riportati nella norma di riferimento (EN 13979) ed utilizzando un limite di fatica assai basso (89 MPa) per tener conto dei difetti tipici di fonderia in terra.

I vincoli imposti dagli spazi disponibili sul carrello delle ALn668 hanno imposto un disegno praticamente radiale delle razze, a tutto vantaggio dello spostamento assiale risultante dal calettamento. Osservando il disegno delle ruote cerchiato convenzionali, si nota che il centro ruota non è mai perfettamente radiale ma presenta un certo grado di ondulazione. Questo è necessario per conferire al centro ruota quel minimo di elasticità radiale che compensa il consumo del cerchione, consentendo al centro ruota stesso di espandersi radialmente e quindi limitare le variazioni di tensione sia all'interno del cerchione che all'interno del centro ruota. Questa ondulazione del centro ruota comporta che, durante il raffreddamento del cerchione a seguito del calettamento, il cerchione stesso si sposti assialmente andando a modificare la quota relativa alla distanza delle facce interne dei cerchioni che ha nuovo deve essere tra 1360 e 1362 mm.

Il calcolo di questo spostamento assiale non è semplice se non si dispone di mezzi di calcolo moderni come il calcolo agli elementi finiti. Oggi è possibile ottenere una stima relativamente accurata di questo spostamento

assiale e tenerne conto durante le lavorazioni meccaniche preparatorie al calettamento del cerchione. Con un esempio pratico, se lo spostamento assiale del cerchione è stimato in 1 mm verso l'esterno, le lavorazioni meccaniche preparatorie porteranno ad una quota della distanza interna dei cerchioni di 1359 mm in modo che una volta terminato il raffreddamento dei cerchioni la quota risulti $1359 + 2 = 1361$ mm, tentando cioè di ricadere al centro della zona di tolleranza ammessa.

Il disegno del centro ruota ha subito un processo lungo che non è qui il caso di ripercorrere. Il calcolo strutturale ha visto l'uso di codici agli elementi finiti con valutazione dello stato di pluriassialità del campo di tensioni derivanti dai vari casi di carico. Non è certamente questa la sede per dettagliare queste valutazioni⁹; diciamo soltanto che con poche iterazioni si è arrivati a definire un centro ruota leggero (130 kg contro i 185 kg del centro ruota originario) e semplice da produrre.

Il centro ruota è risultato ovviamente a razze, per limitare la massa, con due schiere di razze parallele¹⁰, a cui si è ritenuto opportuno ricorrere in quanto, come mostrato nell'articolo precedente, la parte conica dell'accoppiamento dovrebbe stare per quanto possibile in corrispondenza delle vele che sono la parte maggiormente rigida radialmente ed in grado di opporsi allo spostamento laterale del cerchione.

Per l'uso di un materiale molto diffuso in un certo periodo storico, per la forma "floreale" del centro ruota e per sottolineare le possibilità progettistiche rivoluzionarie dell'uso di questo

Figura 2 - A sinistra: ripartizione ottimale di una forza laterale sulle razze di una ruota a due schiere di razze. A destra: disegno costruttivo finale della ruota Liberty Wheel per la ALn668, qui raffigurata con cerchione montato

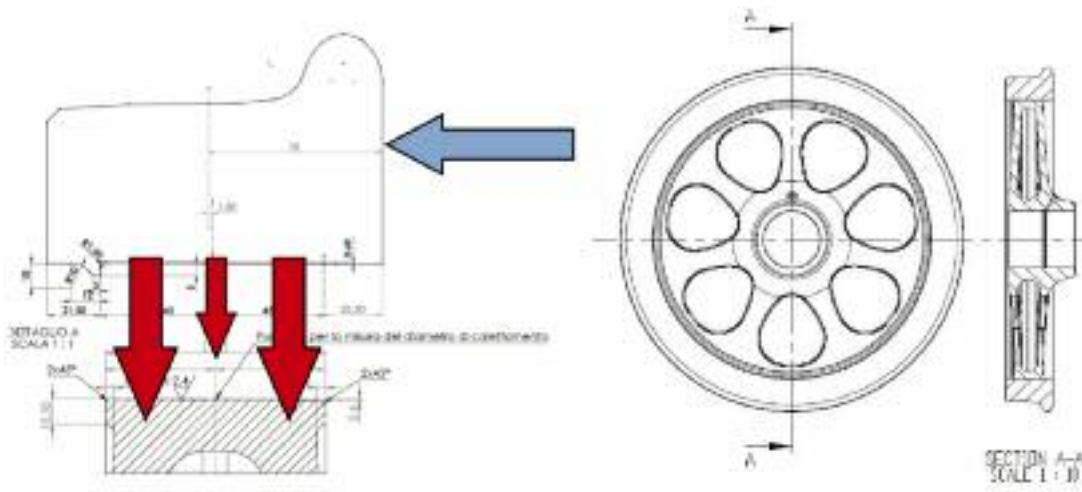
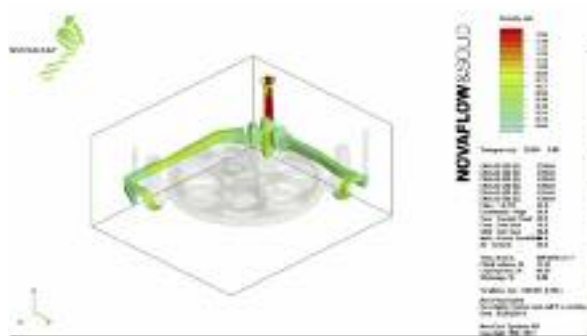


Figura 3 - A sinistra: simulazione della velocità di colata della ghisa sferoidale. A destra: le prime tre Liberty Wheels prodotte (31.01.2019) prima della smaterozzata



materiale, il centro ruota è stato battezzato *Liberty Wheel* (Figura 2).

Una volta “congelato” il progetto, e condivisi con TRENORD i risultati di progetto ottenuti, il disegno finale CAD 3D è stato inviato alla fonderia per le verifiche e la produzione dei prototipi.

Produzione, controllo e lavorazione dei centri ruota

Grazie al fondamentale apporto di TRENORD s.r.l., sono stati commissionati alla Fonderia Silvano Baraldi di Montagnana (Pd) dodici prototipi.

La fonderia ha gestito l'intera fornitura, approvvigionandosi da proprio subfornitori di modelli ed anime ed effettuando la colata delle *Liberty Wheels* a partire dal 31.01.2019. Ovviamente, prima di effettuare la fase di produzione sono state svolte, a partire dal modello CAD 3D fornito, tutte le verifiche numeriche (simulazione di colata, solidificazione, ritiri, etc.) necessarie a garantire, per quanto possibile, la qualità finale dei getti (Figura 3, Figura 4).

Oltre alla prima *Liberty Wheel*, “sacrificata” per i controlli distruttivi, tutti i restanti prototipi sono stati soggetti a controlli non distruttivi particolarmente accurati. Sono stati condotti esami non distruttivi con raggi X su un centro ruota e con ultrasuoni sul 100% dei pezzi prodotti, tutti risultati conformi. È quindi possibile affermare che, già “al primo tentativo”, i centri ruota sono risultati tutti perfettamente conformi alla specifica. I getti, opportunamente sabbati, sono stati inviati alla Fonderie Zanardi di Minerbe (Vr), per l'effettuazione del trattamento termico di austempering e delle prove meccaniche (trazioni, durezza, resilienze) sui provini ri-



Figura 4 - Durante la produzione delle prime tre Liberty Wheels (31.01.2019). In primo piano la prima Liberty Wheel, tagliata per le prove distruttive



mobilità ruote e binari

Figura 5 - A sinistra: calettamento del primo centro ruota per controllare la qualità globale delle lavorazioni e lo squilibrio risultante. Al centro: controllo dimensionale sotto CMM (14.03.2019). A destra: montaggio in verticale del primo centro ruota Liberty Wheel su una sala portante ALn668



Figura 6 - Particolare durante il raffreddamento del cerchione. Ben in evidenza le due schiere di razze parallele che rendono unica la Liberty Wheel



cavati dalla prima ruota sezionata. Tutti i parametri sono risultati perfettamente in linea con quelli della ghisa ADI 800 come descritta dalle norme ISO 17804 ed EN 1564. Nuovamente sabbati, i getti sono stati inviati per le lavorazioni meccaniche all'officina Nuova Comafer di Caivano (Na), che ha effettuato la sgrossatura del foro, la lavorazione di finitura delle superfici di accoppiamento con il cerchione nonché il foro scaletto ed il relativo canalino. Risulta particolarmente interessante osservare che, al termine del calettamento, la sala equipaggiata con le Liberty Wheels sono risultate *naturalmente equilibrate* (squilibrio < 75 gm), il che le renderebbe, da questo punto di vista, idonee all'esercizio fino a 200 km/h.

In Figura 5, Figura 6 e Figura 7 vengono mostrate alcune fasi di lavorazione e di assemblaggio. In Figura 8 vengono confrontati, all'arrivo

Figura 7 - Due viste della prima sala con ruote Liberty Wheels assemblate (16.04.2019)



nei laboratori dell'Università di Firenze, i centri ruota convenzionale e della *Liberty Wheel*.

Le prove di fatica full-scale

La validazione del progetto mediante prove di fatica *full-scale* è ovviamente necessaria per deliberare una qualsiasi produzione in serie.

Un centro ruota è stato lavorato e montato sul "falso assile" della macchina di prova a fatica *full-scale* delle ruote di proprietà di RFI SpA situata presso i laboratori di Firenze Osmannoro. La Figura 9 mostra il calettamento del centro ruota prescelto sul falso assile e la misura delle tensioni di calettamento del cerchione durante il suo raffreddamento, così come effettuato il 10.05.2019 presso l'officina Nuova Comafer. Fondamentale per questa attività è stato l'apporto di Italcertifer S.p.A., che ha equipaggiato a tempo di record 3 razze del centro ruota, consentendo una verifica assai precisa che ha validato il modello di calcolo. In Figura 10 vengono mostrate alcune immagini relative alla

prova a fatica. Per motivi indipendenti dagli autori, la prova è stata sospesa dopo un milione di cicli (10^6) svolti ad una tensione alternata di ± 300 MPa. Se si considera (v. sopra) che il calcolo era stato effettuato con una tensione alternata ammissibile di ± 89 MPa, si comprende come le assunzioni di calcolo siano state particolarmente conservative. Lo stato di compressione delle razze, generate dall'interferenza con il cerchione, è particolarmente benefico dal punto di vista della fatica in quanto le razze *non vanno mai in trazione*, il che, di fatto, impedisce la propagazione delle cricche¹¹.

Le prove in linea: la sperimentazione sulla ALn668.1053

Una muta completa di sale per ALn 668 è stata approntata da Nuova Comafer, con due sale (un carrello) con *Liberty Wheels* e due sale con centri ruota convenzionali (Figura 11). Questo è stato necessario acciocché tutte le ruote del



Figura 8 - Confronto fra il centro ruota *Liberty Wheel* (a sinistra) e quello convenzionale per la ALn668: la differenza in termini di massa risulta particolarmente evidente anche solo visivamente



Figura 9 - Calettamento della *Liberty Wheel* strumentata da Italcertifer per il rilievo delle tensioni residue dopo il calettamento e particolare della ruota con gli estensimetri applicati (Nuova Comafer, Caivano (Na), 10.05.2019)



Figura 10 - Montaggio sulla macchina di RFI SpA presso Firenze Osmannoro per la prova a fatica full-scale di una Liberty Wheel



Figura 11 - Muta di sale per la ALn668.1053 pronta alla partenza da Caivano. Le due sale in primo piano sono equipaggiate con Liberty Wheels, quelle posteriori sono convenzionali. Tutte le ruote hanno la stessa rugosità iniziale



veicolo avessero la medesima rugosità superficiale dato che fra gli scopi della sperimentazione vi era anche il controllo della rumorosità emessa. Le sale sono quindi state inviate alle officine Trenord di Iseo e montate il 14.05.2019 sui carrelli della ALn668.1053, giorno del “battesimo ufficiale” sotto un

rotabile della soluzione *Liberty Wheel*.

Nei giorni successivi (15 e 16 maggio 2019) si sono svolte estensive prove in linea nella tratta FNM Bornato-Calino / Rovato Borgo, tratta fuori esercizio commerciale utilizzata esclusivamente per l’inoltro dei rotabili Trenord essendo la rete FNM interconnessa con la rete RFI presso la stazione di Rovato. Gli esiti delle prove in linea sono da considerarsi completamente soddisfacenti, dato che non è stato riscontrato il minimo problema durante le stesse.

Il rumore emesso dalle Liberty Wheels

In corrispondenza del PL situato al km 2+956 (località Cazzago San Martino) sono state effettuate misure di rumore. In sintesi, l’intera indagine vibroacustica, completata da misure in laboratorio e presso le officine Trenord di Iseo, è consistita in:

- misure di rumore al *pass-by* in ottemperanza alla norma Europea EN ISO 3095 (Figura 16);
- misure di rugosità delle rotaie in ottemperanza alla norma Europea EN 15610 (Figura 15);
- misure di *track decay* delle rotaie in ottemperanza alla norma Europea EN ISO 15461 (Figura 15);
- misure di rugosità delle ruote in ottemperanza al progetto di norma Europea prEN15610 (Figura 17);
- misure di smorzamento del materiale su una

mobilità ruote e binari

Figura 12 - Carrello della ALn668.1053 con *Liberty Wheels* pronto per il montaggio (officine Trenord, Iseo (Bs), 14.05.2019). Si noti che un asse è motore ed uno è portante (la *Liberty Wheel* è progettata per resistere ai massimi carichi torsionali)



Figura 13 - Fotogramma di un filmato ripreso durante il primo movimento della ALn668.1053 con un carrello con *Liberty Wheels* (officine Trenord, Iseo (Bs), 14.05.2019)

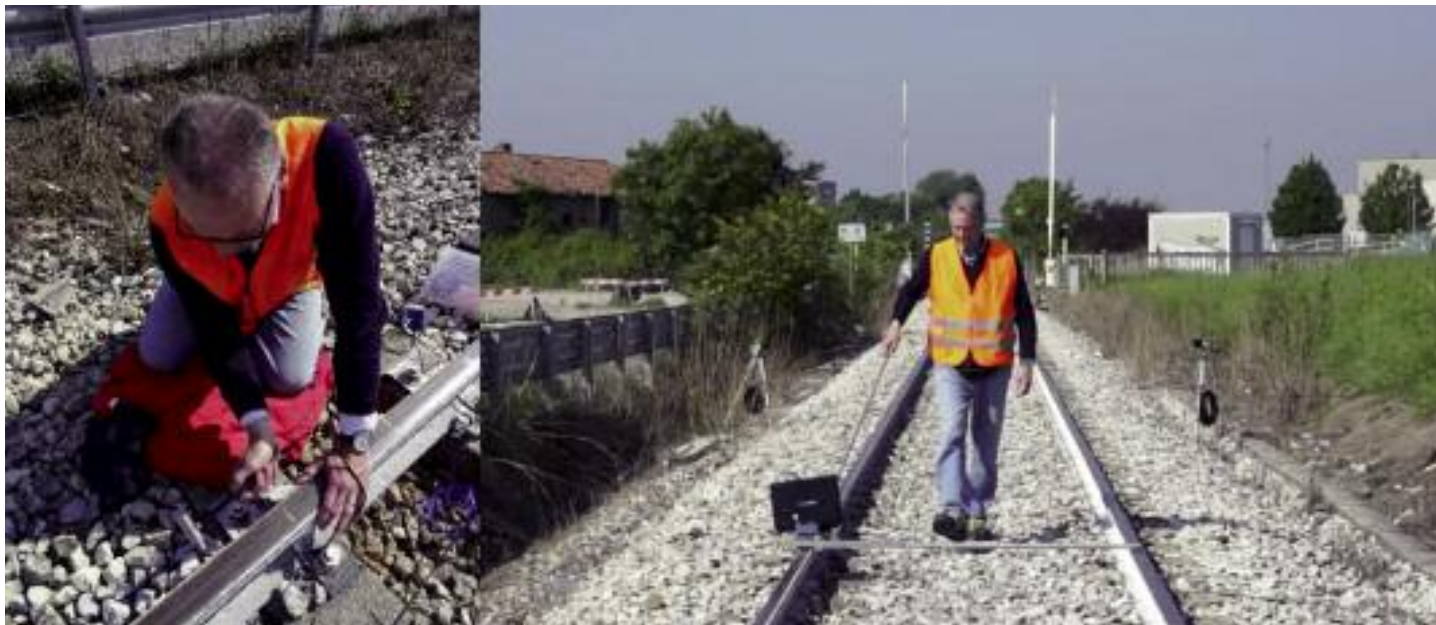


Figura 14 - Misure di mobilità meccanica per validare il modello FEM della *Liberty Wheel* e determinare il coefficiente di smorzamento dei modi propri fino a 5 kHz. A sinistra: centro ruota standard ALn668. A destra: centro ruota *Liberty Wheel* per ALn668 (laboratori UNIFI, 15.04.2019)



mobilità ruote e binari

Figura 15 - PL km 2+956 della linea Bornato-Calino / Rovato (16.05.2019). Test di decadimento delle vibrazioni nel binario (track decay rate) e misura della rugosità delle rotaie (a destra). Entrambe le misure sono richieste dalla EN ISO 3095 (rispettivamente dalle norme EN 15641 ed EN 15610)



ruota completa (in laboratorio) (Figura 14);
• misura della potenza sonora emessa dalla ruota in condizioni standard in accordo alla norma internazionale ISO 3744.
I risultati di questa attività altamente speciali-

stica non possono certamente essere descritti qui e saranno oggetto di una successiva memoria.

Quale unico valore di interesse generale, si è riscontrato un interessante abbattimento del ru-

Figura 16 - PL km 2+956 della linea Bornato-Calino / Rovato (16.05.2019). A sinistra: posizionamento dei microfoni a fini investigativi (2.1 m dall'asse del binario, altezza 460 mm dal p.d.f. pari all'altezza dell'asse delle sale) e normativi (7.5 m dall'asse del binario ed 1.2 m dal p.d.f.) secondo EN ISO 3095. A destra: pass-by della ALn668.1053 ad 80 km/h (velocità prescritta dalla norma)



mobilità ruote e binari

Figura 17 - Officine Trenord di Iseo (16.05.2019). Misura della rugosità delle ruote con strumento autocostruito (utilizzato anche per l'ETR1000) secondo prEN 15610. Le misure sono state effettuate al termine della campagna prove per ottenere superfici omogenee (eliminazione segni di tornitura anche mediante leggera frenatura costante durante le varie tratte)



more emesso che, date le particolarmente sfavorevoli condizioni di prova, lascia sperare in risultati persino migliori su un binario di qualità migliore e più controllata.

Conclusioni ed ulteriori sviluppi

Nel presente lavoro si è dimostrato che le ruote cerchiata possono tornare nuovamente competitive in un mercato sempre più povero di risorse e con tempistiche sempre più ristrette.

Le modalità di lavorazione, assemblaggio e controllo delle ruote cerchiata proposte nella presente memoria sono già a disposizione delle officine meccaniche e delle officine di manutenzione ferroviaria, soprattutto di quelle di primo livello che potrebbero sostituirsi i cerchioni da sole.

Accoppiando le moderne tecniche di lavorazione con centri ruota in materiali innovativi, poco costosi, affidabili, resistenti e facilmente reperibili si potrebbe (finalmente!) “resuscitare” la ruota cerchiata che, andata prematuramente in pensione per questioni di costo e di altro genere, potrebbe ancora dare tante soddisfazioni in virtù della sua semplicità ed affidabilità quando correttamente progettata, costruita e mantenuta.

Nel presente lavoro è stato concepito, calcolato,

prodotto, controllato e testato un nuovo centro ruota fuso in ghisa austemperata, i cui vantaggi, in sintesi, sono i seguenti:

- maggiore leggerezza, derivante dalla ottima colabilità della ghisa, con possibilità di ottenere forme pressoché arbitrarie con getti virtualmente esenti da difetti;
- caratteristiche meccaniche paragonabili agli acciai legati, con allungamenti a rottura e tenacità particolarmente interessanti;
- comportamento a fatica intrinsecamente sicuro, dato che le razze sono sempre soggette a carichi di compressione, indotti dal calettamento del cerchione, per cui risulta impossibile la propagazione di eventuali cricche di fatica;
- *supply chain* molto più ampia e versatile, con un rapporto probabilmente superiore a 10:1 fra tradizionali fornitori di centri ruota forgiati e laminati e fonderie di ghisa sferoidale.

Si può quindi concludere che:

- con l'accoppiamento conico cerchione / centro ruota le officine potrebbero agevolmente sostituirsi i cerchioni “in house”, in tempi ristretti e con notevoli economie. Vengono quindi confermate tutte le prospettive di “autarchia” che erano alla base del progetto originario, essendo sufficiente





approvvigionarsi di cerchioni finiti ed un riscaldatore ad induzione dal costo assai limitato;

- il nuovo centro ruota, denominato *Liberty Wheel*, ha superato tutti gli *stage* di progettazione, lavorazione ed assemblaggio, mentre in corso sono le prove di fatica dalle quali si confida di ottenere risultati lusinghieri visti gli amplissimi margini di sicurezza utilizzati;
- di grande interesse sarebbe continuare la sperimentazione sul lungo periodo, ipotesi non così peregrina visto che il materiale rotabile utilizzato nel presente lavoro (ALn668) verrà pressoché totalmente dismesso nei prossimi 5-10 anni ed un veicolo potrebbe essere agevolmente utilizzato per effettuare test su lunga scala;
- le tecniche di progettazione, costruzione, lavorazione, assemblaggio e controllo rendono possibile ripetere l'intero ciclo per altri rotabili con relativa facilità, quindi è possibile realizzare centri ruota per altri rotabili senza particolari impedimenti;

- dato l'alto presumibile numero di fornitori, è ipotizzabile una riduzione del costo del ciclo di vita delle sale montate con ruote cerchiata a livelli decisamente inferiori a quello delle sale con ruote monoblocco.

Ringraziamenti

Questo lavoro non sarebbe stato possibile senza l'apporto fondamentale della Fonderia Silvano Baraldi, delle Fonderie Zanardi, di Italcertifer, di RFI e, soprattutto, di Trenord, che ha finanziato la costruzione delle 12 ruote prototipo, unica prestazione effettuata a titolo oneroso.

Gli autori intendono qui cumulativamente ringraziare i colleghi delle varie società che hanno investito, a titolo assolutamente gratuito, il loro tempo e le loro risorse per far sì che la *Liberty Wheel* potesse vedere la luce e correre sui binari nella speranza di un radioso futuro.

¹ Il presente lavoro è basato sull'articolo A. Bracciali, G. Caianiello, G. Caianiello, G. Megna: *Moderni sviluppi nella manutenzione delle sale ferroviarie*, presentato all'8° Convegno Nazionale Sistema Tram, Roma 29/30 maggio 2019.

² La prima parte di questo articolo è stata pubblicata su Trasporti Pubblici di Luglio/Agosto 2019.

³ In ordine rigorosamente alfabetico, e senza pretesa di completezza: BVV (Germania), CAF Miira (Spagna), GHH-Bona-trans (Germania + Repubblica Ceca), Lucchini RS (Italia), MG-Valdunes (Francia).

⁴ J. Campbell, *Complete Casting Handbook*, Butterworth-Heinemann, 2011, ISBN-13: 978-1-85617-809-9.

⁵ Si veda Keough, J. R. (Ed.). (1998, August). *Ductile Iron Data for Design Engineers*. <https://www.ductile.org/didata/Section4/4intro.htm#Introduction>.

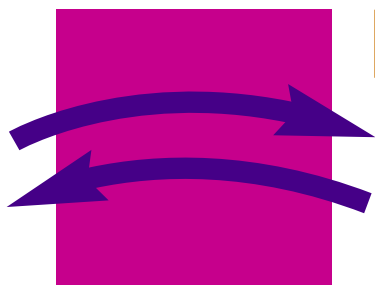
⁶ K. Strommer, F.J. Weber, *Austempered Ductile Iron Spoke Wheel*, atti del del XIX International Wheelset Congress, Venezia, 16-20 giugno 2019.

⁷ Si veda A. Bracciali, G. Megna: *Tyred wheels without braking: structural optimization*, in Atti della Fourth International Conference on Railway Technology, Railways 2018, 3-7 September 2018, Sitges, Barcelona, Spain.

⁸ Per i dettagli si veda A. Bracciali, G. Megna, *Quiet and light spoked wheel centres made of Austempered Ductile Iron*, in Atti del XIX International Wheelset Congress, Venezia, Italy, 16-20 Giugno 2019.

⁹ Ai conoscitori della materia la forma ricorderà vagamente le ruote Boxpok della General Steel Castings Corp., che hanno equipaggiato molte locomotive a vapore, anche in Europa.

¹⁰ In realtà occorre anche che le razze non si snervino in compressione, ma non è possibile in questa sede affrontare ulteriormente l'argomento per il quale si rimanda al già citato articolo A. Bracciali, G. Megna, *Quiet and light spoked wheel centres made of Austempered Ductile Iron*, in Atti del XIX International Wheelset Congress, Venezia, Italy, 16-20 Giugno 2019.



TP

Anno XXXIV - Settembre/Ottobre 2019

TRASPORTI PUBBLICI



INNOVAZIONI: TRA PRESENTE E FUTURO

trasporti regionali e urbani • sistema tram • cybersecurity

Energia alternativa

4 ENI, DESCALZI GUARDA IN AVANTI: "I RIFIUTI SONO IL PETROLIO DEL FUTURO"
Affaritaliani.it

Rapporto ASviS

6 L'ITALIA E GLI OBIETTIVI DI SVILUPPO SOSTENIBILE

Mobilità ruote e binari

25 IL RITORNO DELLE RUOTE CERCHiate?
Parte 2
di Andrea Bracciali, Gianluca Megna

Rivoluzione digitale

37 MAAS: LE CITTÀ SENTIRANNO LA MANCANZA DEGLI AUTOBUS?
di Sarah Wray

41 IL FUTURO DEI TRASPORTI VIAGGIA CON L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE
di Patrizia Ciufferi, Massimiliano Dionisi

45 TRASPORTI E DIGITALIZZAZIONE: L'IMPATTO DEL CYBER RISK

PUBBLIREDAZIONALE

47 ELETTRICI SI NASCE
di Dario Del Pozzo

• **Orizzonti**

25