

NAUTICA +++ | Additive Manufacturing in campo Navale e Nautico | Arianna Bionda e Andrea Ratti

NAUTICA +++

Additive Manufacturing in campo Navale e Nautico

a cura di
Arianna Bionda | Andrea Ratti

EDIZIONI
POLI.DESIGN

EDIZIONI
POLI.DESIGN

| **NAUTICA +++** | Additive Manufacturing in campo Navale e
Nautico | Arianna Bionda | Andrea Ratti

ISBN: 978-88-95651-11-8
© 2017 Edizioni POLI.design

via Durando 38/A – 20158 Milano
Tel. 02-2399.7206 Fax 02-2399.5970
e-mail: polidesign@mail.polimi.it
internet: www.polidesign.net
www.polidesign.net/myd

.....

Prima edizione novembre 2017

Stampa Litogì – Milano

Immagine di copertina tratta dal
progetto STRIPS di Giorgio Nuzzo.
<https://vimeo.com/237939631>



This Work is Licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike CC BY-NC-SA For full details on the license, go to: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Indice

Prefazione	9
Yacht Design e fabbricazione digitale: le nuove sfide di Industria 4.0 Arianna Bionda, Andrea Ratti	13

Sezione 1 | Tecnologie per le applicazioni industriali

1. Additive Manufacturing: le opportunità e le prospettive industriali Alessandro Salmi	23
2. Stampa 3d e Robotica. Nuovi orizzonti per la manifattura di compositi a fibra lunga Marinella Levi	33
3. Potenzialità e applicazioni delle tecnologie additive per la produzione di componenti e sistemi metallici Maurizio Vedani	45
4. Materializzare prodotti: stampa 3d & design Patrizia Bolzan	55

Sezione 2 | Esperienze in campo Nautico

5. Le barche si stampano. L'Additive Manufacturing come scenario futuro della progettazione nautica Paolo Nazzarro, Guido Zannoni	73
---	----

- 6. Fabbricazione additiva nel comparto nautico: nuovi scenari e prospettive** 83
Daniele Cevola
- 7. Tecnologie free-form per la realizzazione di componenti nautici tramite fiber placement** 93
Francesco Braghin

Sezione 3 | Esperienze in campo Navale

- 8. Esperienze e soluzioni di Additive Manufacturing nel settore navale** 105
Riccardo Profumo
- 9. Additive Manufacturing: le esperienze Fincantieri-Unige su modelli in scala di eliche** 115
Luigi Grossi, Tancredi Cilia, Daniele Bertetta
- 10. Potenzialità delle tecnologie Additive in contesti in via di sviluppo** 125
Davide Telleschi

- Bibliografia** 135

Prefazione

Il testo raccoglie gli atti del seminario Additive Manufacturing in campo Navale e Nautico tenutosi presso il Politecnico di Milano lo scorso 17 Maggio 2017 e rappresenta una raccolta di riflessioni ed esperienze sul tema della fabbricazione additiva per lo Yacht Design. Ricostruisce una storia contenuta, ma molto densa, in cui le evoluzioni tecniche che si sono susseguite con inedita rapidità sono state particolarmente significative.

Il convegno è stato organizzato grazie alla collaborazione tra il Dipartimento di Design del Politecnico di Milano, Atena (Associazione Italiana di Tecnica Navale) e l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Milano, e ha visto la partecipazione di Università, Enti di ricerca e aziende del comparto nautico e navale. Il patrocinio di Ucina e Aspronadi ha inoltre rappresentato un prezioso supporto alla progettazione dell'evento con il coinvolgimento di realtà imprenditoriali che stanno spingendo al limite la sperimentazione in questo campo.

Le tre sessione tecniche del convegno raccolgono le esperienze chiave nei diversi ambiti di ricerca, di sperimentazione e di applicazione della fabbricazione additiva. Interventi interessanti non solo per i risultati, raccolti in questa pubblicazione, ma, soprattutto, per le suggestioni e gli scenari che propongono e per l'apertura proposta nell'interpretare la concezione e la realizzazione stessa di manufatti industriali.

La commistione e la capacità di lavorare in sinergia con competenze disciplinari diverse è oggi più che mai indispensabile rispetto alla necessità di combinare know how sulle tecnologie e sui materiali con un'ampia visione di metodo progettuale. E la nautica rappresenta probabilmente un ambito in cui tale interdisciplinarietà offre grandi potenzialità, un contesto in cui occorre sapere immaginare il futuro sfruttando le potenzialità che le nuove tecnologie ci mettono a disposizione.

Yacht Design e fabbricazione digitale: le nuove sfide di Industria 4.0

Arianna Bionda | Andrea Ratti

Politecnico di Milano, Dipartimento di Design | arianna.bionda@polimi.it | andrea.ratti@polimi.it

Nell'ultimo decennio le tecnologie di manifattura digitale e additiva hanno dimostrato sempre più il loro carattere di innovazione rivoluzionaria. Accanto alle esperienze consolidate nei settori industriali del design, del biomedicale, dell'aerospazio anche il comparto nautico e navale assiste a un radicale cambio di prospettiva. Interconnessione di oggetti, velocità di prototipazione e nuove opportunità progettuali libere da vincoli di natura costruttiva sono gli elementi chiave di questa rivoluzione industriale, ormai nota come Industria 4.0.

La quarta rivoluzione industriale, presentata alla fiera Hannover Messe nel 2011, prende il nome dall'iniziativa del governo tedesco Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Concretizzato alla fine del 2013, il progetto per l'industria del futuro prevedeva investimenti su infrastrutture, scuole, sistemi energetici, enti di ricerca e aziende per ammodernare il sistema produttivo tedesco e riportare la manifattura tedesca competitiva a livello globale. In realtà il progetto Industrie 4.0 ha prodotto molto di più. Ha evidenziato le radicali trasformazioni che l'evoluzione digitale e la sua applicazione

nei più diversi settori industriali comporta in termini di innovazione di prodotto e di processo.

Se le precedenti rivoluzioni industriali, nel 1780 con la nascita della macchina a vapore, nel 1870 con l'avvento dell'elettricità e negli anni '70 grazie all'introduzione dell'informatica, sono state pienamente colte e teorizzate a posteriori, la quarta rivoluzione industriale è anch'essa ancora in fase embrionale. Le sfide che questa pone alla produzione industriale sono innumerevoli e trasformano profondamente non solo il modo di concepire e produrre beni e servizi, ma anche la loro relazione con l'uomo.

Secondo le recenti ricerche degli osservatori internazionali di Industria 4.0¹, le nuove tecnologie digitali avranno un impatto profondo nell'ambito di quattro direttrici di sviluppo principali. La prima riguarda l'utilizzo e la sicurezza dei dati, la potenza di calcolo e la connettività, e si declina in Big Data, Internet of Things, Machine-to-Machine e Cloud Computing per la centralizzazione delle informazioni e la loro conservazione. La seconda, la diffusione di strumenti e sistemi sempre più sofisticati di business intelligence e analytics per la comprensione e la valorizzazione del dato. La terza direttrice di sviluppo è l'interazione tra uomo e macchina, che coinvolge le interfacce intelligenti e i device per la realtà aumentata. Infine il passaggio dal digitale al reale. Accanto a tecnologie ormai consolidate come quelle per asportazione di materiale, troviamo le tecniche di fabbricazione additiva. La stampa 3D, tra le innovazioni di Industria 4.0, è la più fisica che abilita profonde trasformazioni dell'oggetto prodotto e del modo di concepirlo. È interessante notare come per anni si sia assistito alla progressiva dematerializzazione della manifattura verso una economia di servizi. L'industria 4.0 oggi ci ripropone la sua rimaterializzazione, secondo nuovi criteri e prospettive.

¹ Politecnico di Milano, Osservatori.net – Digital Innovation, Industria 4.0. https://www.osservatori.net/it_it/osservatori/osservatori/industria-4.0.
McKinsey & Company, Industry 4.0 Survey. <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-analytics/our-insights>
EU Parliament, Industry 4.0. [www.europarl.europa.eu/.../EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/.../EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf)
PwC, Industry 4.0. <https://www.pwc.nl/en/assets/documents/pwc-industrie-4-0.pdf>

La recente estensione applicativa dei processi di Additive Manufacturing, che inizialmente hanno interessato unicamente i settori di rapid prototyping, rapid tooling e di preserie, ha oggi coinvolto la categoria dei prodotti reali, oltrepassando lo stadio di prototipo. L'articolo "Print me a Stradivarius. How a new manufacturing technology will change the world" pubblicato dalla rivista The Economist il 10 Febbraio 2011 ha segnato per primo questa tendenza, un salto che si sarebbe compiuto in pochi mesi e che avrebbe portato l'apertura di scenari nuovi per la manifattura digitale e additiva: la personalizzazione della produzione e la democratizzazione delle tecnologie.

Three-dimensional printing makes it as cheap to create single items as it is to produce thousands and thus undermines economies of scale. It may have as profound an impact on the world as the coming of the factory did. [...] Just as nobody could have predicted the impact of the steam engine in 1750—or the printing press in 1450, or the transistor in 1950—it is impossible to foresee the long-term impact of 3D printing. But the technology is coming, and it is likely to disrupt every field it touches.

[La stampa tridimensionale rende economico creare singoli oggetti tanto quanto crearne migliaia e quindi mira le economie di scala. Essa potrebbe avere sul mondo un impatto così profondo come lo ebbe l'avvento della fabbrica. [...] Proprio come nessuno avrebbe potuto predire l'impatto del motore a vapore nel 1750 – o della macchina da stampa nel 1450, o del transistor nel 1950 – è impossibile prevedere l'impatto a lungo termine della stampa 3D. Ma la tecnologia sta arrivando, ed è probabile che sovverta ogni campo che tocchi.]
(The Economist, 2011).

Quali sono i motivi di una diffusione così rapida e pervasiva delle tecnologie additive? Il primo di essi è sicuramente quello economico. Ciò che costava caro con la produzione tradizionale diventa ora gratuito: Customization is free², produrre oggetti personalizzati e differenti l'uno dall'altro non costa di più che fabbricarli tutti uguali, e complexity is free², il

costo di elementi composti, anche di materiali differenti e con geometrie complesse dipende esclusivamente dalla quantità di materiale utilizzato, riducendo al minimo gli scarti di lavorazione. Inoltre, il processo stesso di stampa 3D, lavorando per addizione di materiale attraverso layer sovrapposti, rende questa tecnologia flessibile, trasversale e adattabile a diversi materiali: dai materiali tradizionali come polimeri, metalli e inerti, a cellule biologiche e alimenti. Sulla bilancia pesano però anche alcuni vantaggi, in particolar modo legati alle dimensioni dell'oggetto stampabile, al piano di stampa del macchinario utilizzato e ai tempi di produzione e finitura del singolo pezzo.

If you want to make a million rubber duckies, you can't beat injection-molding. The first ducky may cost \$10,000 in tooling for a mold, but every one after that amortizes the one-off cost. By the time you've made a million, they cost just pennies for the raw materials. Make the same thing on a 3-D printer; on the other hand, and the first ducky might cost just \$20 in time and materials – a huge saving. But so, sadly, will the one-millionth – there is no volume discount.

[Se volete fabbricare un milione di paperette di gomma, non c'è nulla che possa battere lo stampaggio a iniezione. La prima potrebbe costarvi 10.000 dollari per attrezzare la macchina, ma ogni pezzo fabbricato in più va ad ammortizzare il costo iniziale. Quando ne avrete fabbricate un milione, vi saranno costate pochi centesimi, per la sola materia prima. Fate lo stesso lavoro su una stampante 3D, e la prima paperetta potrebbe costarvi appena 20 dollari tra tempo e materiali: un risparmio colossale. Ma purtroppo vi costerà 20 dollari anche la milionesima.]
(Campbell et al, 2012)

Il costo di produzione di un oggetto stampato in 3D è quindi (quasi) indipendente dai volumi stessi di produzione. Il venir meno delle economie

² Duann Scott on 3D printing market Shapeways, 2013.
<https://qz.com/105063/3d-printing/>

di scala nella manifattura additiva può attivare un cambio di prospettiva del settore manifatturiero indirizzando la produzione verso elevata qualità e personalizzazione del prodotto stesso. Le tecnologie di fabbricazione additiva non rivoluzionano così le pratiche del design ma le espandono, aprendo nuove potenzialità di relazione fra gli oggetti e i soggetti protagonisti della trasformazione digitale, aziende, artigiani, autoproduttori e progettisti.

Elevata qualità e personalizzazione del prodotto sono le principali caratteristiche del settore nautico italiano, riconosciuto come eccellenza in tutto il mondo.

L'Italia è il secondo produttore mondiale di imbarcazioni da diporto, superato unicamente dagli Stati Uniti, e leader nel comparto Mega Yacht taylor made. Un settore in forte crescita, dopo la crisi del 2010, che vede un portafoglio ordini 2016 del valore di 1,8 Miliardi di euro e una stima di crescita del 9% entro il 2020³. Anche la cantieristica navale italiana si conferma ai primi posti con il settore Cruise a trainare l'intero comparto. Nonostante numeri importanti, la cantieristica italiana è rappresentata principalmente da micro e piccole imprese più vicine alla dimensione dell'artigianato che di una vera industria manifatturiera.

Ed è qui che la sfida di Industria 4.0 e della fabbricazione digitale e additiva si fa concreta: una imbarcazione artigianale prodotta con un sistema industriale evoluto.

Dai primi dati rilevati dal progetto Nautica 4.0 del Politecnico di Milano, Dipartimento di Design, si evince che solo alcune aziende dell'intero comparto nautico e navale stanno maturando una certa consapevolezza nei confronti dell'era 4.0 e delle ricadute positive che si possono riscontrare sull'intero processo produttivo.

Nel navale le nuove tecnologie digitali sono già presenti in ambito motoristico: Wartsila si connette alle sale macchina delle proprie installazioni marine per dare assistenza immediata e da remoto in caso di malfunzionamento o guasto, grazie alla dotazione di sensoristica avanzata applicata

³ CNA, Pollicardo L. (2017). Dinamiche e prospettive della filiera nautical del diporto. CNA Produzione Nautica

ai suoi motori, mentre Rolls Royce punta al controllo a distanza per realizzare la guida da remoto, non solo della gestione dei motori, ma della stessa nave.

Alcuni recenti studi hanno già dimostrato la producibilità di eliche per additive manufacturing e di valvole per impianti di bordo rendendo tangibile quanto possa risultare interessante la possibilità di realizzare componentistica di ricambio e manutenzione solo al fabbisogno e potenzialmente anche a bordo. La combinazione delle tecnologie di scansione 3d abbinata alle tecniche di fabbricazione additiva si pone l'obiettivo di mitigare il rischio di obsolescenza dei prodotti. Alcuni casi applicativi sono stati condotti nel Fieldlab - Innovation Dock di Rotterdam, in cui l'introduzione di sensori a fibra ottica all'interno del componente ripristinato può diventare interessante strumento diagnostico e fonte di dati preziosi dell'assetto delle navi in esercizio. Inoltre, il percorso di ricerca per la qualifica delle parti di manutenzione ha l'obiettivo di garantire l'intercambiabilità delle parti prodotte in additive manufacturing con le precedenti realizzate mediante processi tradizionali.

In ambito nautico, il tessuto imprenditoriale, per questioni organizzative e di retaggio culturale, necessita ancora di una riflessione approfondita che possa fare luce sulle reali possibilità in campo e per costruire una visione del futuro della nautica.

Alcuni virtuosi esempi di applicazione delle tecnologie di Additive Manufacturing si riscontrano invece in start up innovative. È il caso di Livrea Yacht che dal 2014 ha avviato una attività di sperimentazione sul campo per la realizzazione della prima imbarcazione stampata in 3D. Il percorso progettuale ha stimolato la ricerca verso l'analisi delle strutture reticolari anisogrid, finalizzata all'ottimizzazione topologica per rendere più leggera e resistente l'imbarcazione. A partire da piccoli elementi di componentistica minore, la sperimentazione ha portato alla stampa di una porzione strutturale dell'imbarcazione Livrea 26' durante il RAPID + TCT di Pittsburgh 2017. La sfida lanciata da questa start up è ambiziosa e sfrutta al meglio le potenzialità offerte dalla fabbricazione digitale: partecipare alla Minitransat 2019, competizione transatlantica individuale che copre oltre 4000 miglia tra Francia e Brasile, con uno scafo completamente stampato

in additive manufacturing. Questa competizione si distingue infatti per l'alto valore tecnologico delle barche in acqua e per la libertà di totale customizzazione e prototipazione delle stesse imbarcazioni.

Questi valori sono elementi chiave nella lettura delle nuove potenzialità offerte dalla quarta rivoluzione industriale. Le tecnologie di fabbricazione digitale e additiva suggeriscono così un ampliamento degli obiettivi del comparto nautico e navale: la necessità di creare un network fra cantieri e subfornitura per l'accesso facilitato e condiviso alle tecnologie e per l'evoluzione dell'artigianato digitale, il ripensamento del prodotto barca nella relazione tra tecnologia e tradizione, e la connessione e interoperabilità dei principali sistemi di bordo per la comprensione delle dinamiche in navigazione e per la manutenzione in remoto.

Bibliografia

Abernathy W.J., Utterback J. (1978). Patterns of industrial innovation, *Technology Review*, vol. 80(7), 40-47.

Anderson, C. H. R. I. S. (2007). *La lunga coda, da un mercato di massa ad una massa di mercati*. Torino, Italia: Codice Edizioni.

Atzeni E., Salmi A. (2012), Economics of additive manufacturing for end-usable metal parts, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 62(9-12), 1147-1155.

Atzeni, E., & Salmi, A. (2015). Study on unsupported overhangs of AlSi10Mg parts processed by Direct Metal Laser Sintering (DMLS). *Journal of Manufacturing Processes*, 20, 500-506.

Atzeni, E., Iuliano, L., Marchiandi, G., Minetola, P., Salmi, A., Bassoli, E., Gatto, A. (2013). Additive manufacturing as a cost-effective way to produce metal parts. In Bartolo PJ et al., *High Value Manufacturing*, CRC Press, 3-8.

Atzeni, E., Iuliano, L., Minetola, P., & Salmi, A. (2010). Redesign and cost estimation of rapid manufactured plastic parts. *Rapid Prototyping Journal*, 16(5), 308-317.

Bassani, P., Biffi, C. A., Casati, R., Zanatta Alarcon, A., Tuissi, A., & Vedani, M. (2016). Properties of Aluminium Alloys Produced by Selective Laser Melting. *Trans Tech Publications: Key Engineering Materials*, 710, 83-88.

Baur, C., & Wee, D. (2015). *Manufacturings Next Act*. McKinsey and Company.

Beltrametti, L., & Gasparre, A. (2014). La stampa 3D come nuova sfida tecnologica al lavoro manifatturiero. Atti del XXVI Convegno annuale di Sinergie.

Berta G. (2014), *Produzione intelligente. Un viaggio nelle nuove fabbriche*. Torino, Italia: Einaudi.

Bifulco F. (2004), I percorsi di innovazione nelle imprese industriali: un approccio olistico, *Sinergie*, (64-65), 135-154.

Boccardi, A., Marzi, G., Zollo, L., Ciappei, C., & Pellegrini, M. (2014). Gli effetti della Stampa 3D sulla competitività aziendale. Atti del XXVI Convegno annuale di Sinergie.

- Bolzan, P. (2015). Additive manufacturing technologies for materialization processes in design practice.
- Bonacina, M. (2015). Progettazione e realizzazione di un sistema prototipale per SLM e caratterizzazione dei primi componenti in acciaio inossidabile AISI 316L.
- Calignano, F., Manfredi, D., Ambrosio, E. P., Biamino, S., Lombardi, M., Atzeni, E., Fino, P. (2017). Overview on additive manufacturing technologies. *Proceedings of the IEEE*, 105(4), 593-612.
- Campbell, I., Bourell, D., & Gibson, I. (2012). Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age. *Rapid prototyping journal*, 18(4), 255-258.
- Casati, R., Lemke, J. N., Alarcon, A. Z., & Vedani, M. (2017). Aging Behavior of High-Strength Al Alloy 2618 Produced by Selective Laser Melting. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 48(2), 575-579.
- Chiumenti, M., Cervera, M., Salmi, A., De Saracibar, C. A., Dialami, N., & Matsui, K. (2010). Finite element modeling of multi-pass welding and shaped metal deposition processes. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, 199(37), 2343-2359.
- De Jong J.P.J., De Bruijn E. (2013), Innovation lessons from 3-D printing, *MIT Sloan Management Review*, 54(2), 42-52.
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573-1587.
- Fossati, F., Bayati, I., Muggiasca, S., Vandone, A., Campanardi, G., Burch, T., & Malandra, M. (2016). Pressure Measurements on Yacht Sails: Development of a New System for Wind Tunnel and Full Scale Testing. In *The 22nd Chesapeake Sailing Yacht Symposium*, pp. 84-97.
- Fossati, F., Bayati, I., Orlandini, F., Muggiasca, S., Vandone, A., Mainetti, G., Begovic, E. (2015). A novel full scale laboratory for yacht engineering research. *Ocean Engineering*, 104, 219-237.
- Fossati, F., Muggiasca, S., Bayati, I., & Bertorello, C. (2013). Lecco Innovation Hub sailing yacht lab project. In *Proceedings of the 3rd International Conference Innovation in High Performance Sailing Yachts, Lorient France (Vol. 1)*.
- Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., Zavattieri, P. D. (2015). The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *Computer-Aided Design*, 69, 65-89.
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2014). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*. Springer.

- Griffini, G., Invernizzi, M., Levi, M., Natale, G., Postiglione, G., & Turri, S. (2016). 3D-printable CFR polymer composites with dual-cure sequential IPNs. *Polymer*, 91, 174-179.
- Invernizzi, M., Natale, G., Levi, M., Turri, S., & Griffini, G. (2016). UV-assisted 3D printing of glass and carbon fiber-reinforced dual-cure polymer composites. *Materials*, 9(7), 583.
- Jared, B. H., Aguilo, M. A., Beghini, L. L., Boyce, B. L., Clark, B. W., Cook, A., Robbins, J. (2017). Additive manufacturing: Toward holistic design. *Scripta Materialia*, 135, 141-147.
- Kellens, K., Baemers, M., Gutowski, T. G., Flanagan, W., Lifset, R., & Duflou, J. R. (2017). Environmental dimensions of additive manufacturing: Mapping application domains and their environmental implications. *Journal of Industrial Ecology*.
- Kühnle, H. (2009) *Distributed Manufacturing: Paradigm, Concepts, Solutions and Examples*, Springer.
- Leadbeater, C. (2009). *We-Think: Mass innovation, not mass production*. Great Britain, London: Profile Books.
- Lipson H., Kurman M. (2013), *Fabricated. The new world of 3D printing*, United States, Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc.
- Maffei, S. (2011). Artigiano oggi. Comprendere i processi innovativi contemporanei tra design, nuove forme di progetto e creatività e evoluzione dei modelli di produzione, in V. Arquilla, *Intenzioni creative. Design e artigianato per il Trentino*, Italia, Rimini: Maggioli.
- Magone, A., & Mazali, T. (2016). *Industria 4.0. Uomini e macchine nella fabbrica digitale*. goWare & Guerini e Associati SpA.
- Mellor S., Hao L., Zhang D. (2014) Additive manufacturing: A framework for implementation, *International Journal of Production Economics*, vol. 149, March, pp. 194-201.
- Moretto, A. (2017). *Strategie sostenibili nell'industria 4.0*.
- Murr, L. E. (2015). Metallurgy of additive manufacturing: Examples from electron beam melting. *Additive Manufacturing*, 5, 40-53.
- Murr, L. E., Gaytan, S. M., Ramirez, D. A., Martinez, E., Hernandez, J., Amato, K. N., Wicker, R. B. (2012). Metal fabrication by additive manufacturing using laser and electron beam melting technologies. *Journal of Materials Science & Technology*, 28(1), 1-14.
- Piller, F. (2006). *Mass Customization*, Germany, Berlino: Gabler Verlag.
- Postiglione, G., Natale, G., Griffini, G., Levi, M., & Turri, S. (2015). Conductive 3D microstructures by direct 3D printing of polymer/carbon nanotube nanocomposites via liquid deposition modeling. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 76, 110-114.

Postiglione, G., Natale, G., Griffini, G., Levi, M., & Turri, S. (2015). UV assisted three dimensional printing of polymer nanocomposites based on inorganic fillers. *Polymer Composites*.

Pradel, P., Zhu, Z., Bibb, R. J., & Moultrie, J. (2017). Investigation of design for additive manufacturing in professional design practice.

Reeves, P., Tuck, C., Hague, R. (2011), Additive Manufacturing for Mass Customization, in F.S. Fogliatto, G.J.C. da Silveira, Mass Customization, Springer London.

Rullani, E. (2014), Manifattura in transizione. *Sinergie*, 93, 141-152.

Seravalli, A. (2013). Prototyping for opening production: from designing for to designing in the making together. Proceedings of Crafting the future - 10th European Academy of Design Conference, Gothenburg, 17-19.

Shamsaei, N., Yadollahi, A., Bian, L., Thompson, S. M. (2015). An overview of Direct Laser Deposition for additive manufacturing; Part II: Mechanical behavior, process parameter optimization and control. *Additive Manufacturing*, 8, 12-35.

Thomas, D. (2016). Costs, benefits, and adoption of additive manufacturing: a supply chain perspective. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5-8), 1857-1876.

Tuulenmäki, A., Välikangas, L. (2011) The art of rapid, hands-on execution Innovation. *Strategy & Leadership*, 39(2)

Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A review of additive manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, 2012.

ISBN 978-88-95665-1-11-8

Questo testo raccoglie gli atti del seminario *Additive Manufacturing in campo Navale e Nautico* tenutosi presso il Politecnico di Milano il 17 Maggio 2017 e rappresenta una raccolta di riflessioni ed esperienze sul tema della fabbricazione additiva per lo Yacht Design. Ricostruisce una storia contenuta, ma molto densa, in cui le evoluzioni tecniche che si sono susseguite con inedita rapidità sono state particolarmente significative.

Le tre sessioni tecniche del convegno raccolgono le esperienze chiave nei diversi ambiti di ricerca, di sperimentazione e di applicazione della fabbricazione additiva. Interventi interessanti non solo per i risultati, raccolti in questa pubblicazione, ma, soprattutto, per le suggestioni e gli scenari che propongono e per l'apertura proposta nell'interpretare la concezione e la realizzazione stessa di manufatti industriali.

La commistione e la capacità di lavorare in sinergia con competenze disciplinari diverse è oggi più che mai indispensabile rispetto alla necessità di combinare know how sulle tecnologie e sui materiali con un'ampia visione di metodo progettuale. E la nautica rappresenta probabilmente un ambito in cui tale interdisciplinarietà offre grandi potenzialità, un contesto in cui occorre sapere immaginare il futuro sfruttando le potenzialità che le nuove tecnologie ci mettono a disposizione.