

RIFIUTI INDUSTRIALI DAL SETTORE MANIFATTURIERO DELLA NAUTICA DA DIPORTO NELLA REGIONE MARCHE: CARATTERIZZAZIONE PARAMETRICA E CHIMICO-FISICA

Manuela Carchesio*, Fabio Tatàno, Giovanni Tosi, Carlo Hans Trivellone

Università di Urbino “Carlo Bo”, Dipartimento di Scienze di Base e Fondamenti, Sezione BioMIA – BioMatematica, Modellistica ed Ingegneria Ambientale, Urbino.

Sommario – Questo articolo riporta una caratterizzazione della generazione di rifiuti industriali connessi con la costruzione d'imbarcazioni in materiale composito e di alcune proprietà chimico-fisiche di tipologie rappresentative di scarti nautici (schiuma polimerica, resina indurita, residui di materiale composito fibrorinforzato e polvere di carteggiatura), con riferimento al rinomato settore manifatturiero della nautica da diporto della Regione Marche. Il coefficiente specifico di produzione per addetto (CSPpA) è risultato pari a $1,47 \text{ t addetto}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ per l'intero distretto marchigiano mentre, le valutazioni condotte separatamente per le tre aziende caso di studio hanno portato a valori quali 1,56, 3,07 e $1,12 \text{ t addetto}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, rappresentativi di un'azienda costruttrice di imbarcazioni a motore in serie (azienda “1”), di un'azienda costruttrice di barche a vela personalizzate (azienda “2”) e di un'azienda costruttrice di stampi e componenti strutturali (azienda “3”), rispettivamente. La valutazione di due originali coefficienti specifici di produzione, basati su caratteristiche fisiche intrinseche al prodotto costruito ovvero, il coefficiente specifico di produzione per unità di superficie dell'imbarcazione (CSPpS) e quello per unità di peso dell'imbarcazione (CSPpP), ha confermato la più alta produzione di rifiuti per l'azienda realizzatrice di barche a vela (valori rappresentativi di CSPpS e CSPpP pari a $0,35 \text{ t m}_{\text{barca}}^{-2} \text{ anno}^{-1}$ e $2,71 \text{ t t}_{\text{barca}}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, rispettivamente) in confronto all'azienda di barche a motore (i cui valori di CSPpS e CSPpP sono risultati pari a $0,06 \text{ t m}_{\text{barca}}^{-2} \text{ anno}^{-1}$ e $0,49 \text{ t t}_{\text{barca}}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, rispettivamente). La caratterizzazione delle proprietà chimico-fisiche degli scarti opportunamente selezionati ha mostrato i seguenti aspetti: bassi contenuti di umidità; significative concentrazioni di ceneri negli scarti di materiale composito a base di fibra di vetro e fibra di carbonio e nella derivante polvere di carteggiatura; e valori di potere calorifico inferiore (PCI) relativamente alti e compresi nell'intervallo 14144-32479 kJ kg^{-1} .

Parole chiave: costruzione d'imbarcazioni; rifiuto industriale; rifiuto plastico; proprietà chimico-fisiche; coefficiente di produzione dei rifiuti.

Keywords: boat building; industrial waste; plastic residue; property characterization; unit generation rate

Ricevuto il 3-11-2014; Correzioni richieste il 22-12-2014; Accettazione finale il 21-1-2015.

* Campus Scientifico “E. Mattei” - Via Cà Le Suore, 61029 Urbino. Tel. 0722 304264, manuela.carchesio@uniurb.it, fabio.tatano@uniurb.it

INDUSTRIAL WASTES FROM THE BOAT-BUILDING SECTOR IN THE MARCHE REGION (ITALY): A PARAMETRIC AND CHEMICAL-PHYSICAL CHARACTERIZATION

Abstract – This paper addresses the characterization of the industrial waste generation from the building of composite material-based boats and some chemical-physical properties of representative types of boat building residues (plastic foam, hardened resin, fiber-reinforced composite residues, and sanding dust) referring to the renowned leisure boat building sector in the Marche Region (Italy). A parametric evaluation based on the number of employees gave a representative unit generation rate per employee (UGRpE) of $1,47 \text{ tons}_{\text{waste}} \text{ employee}^{-1} \text{ year}^{-1}$ for the entire Marche regional boat building district, whereas evaluations carried out separately for three case-study companies provided values of 1,56, 3,07, and $1,12 \text{ tons}_{\text{waste}} \text{ employee}^{-1} \text{ year}^{-1}$ as representative for a mass-produced motor boat builder (case-study company “1”), a customized sailing boat builder (case-study company “2”), and a mold and structural component builder (case-study company “3”), respectively. The original proposal and evaluation of two additional generation rates based on physical characteristics intrinsic to the manufactured product, *i.e.*, the unit generation rate per boat area (UGRpA) and per boat weight (UGRpW), confirmed the higher waste generation for the sailing boat builder (representative UGRpA and UGRpW values of $0,35 \text{ tons}_{\text{waste}} \text{ m}_{\text{boat}}^{-2} \text{ year}^{-1}$ and $2,71 \text{ tons}_{\text{waste}} \text{ tons}_{\text{boat}}^{-1} \text{ year}^{-1}$, respectively) compared to the motor boat builder (representative UGRpA and UGRpW values of $0,06 \text{ tons}_{\text{waste}} \text{ m}_{\text{boat}}^{-2} \text{ year}^{-1}$ and $0,49 \text{ tons}_{\text{waste}} \text{ tons}_{\text{boat}}^{-1} \text{ year}^{-1}$, respectively). The chemical-physical property characterization of the selected residues revealed the following aspects: a general condition of low moisture contents; significant ash contents in the glass- and carbon-fiber composite residues and the correlated sanding dust; and relatively high energy content values in the overall range 14144-32479 kJ kg^{-1} , expressed as the lower heating value (LHV).

1. INTRODUZIONE

In accordo con la direttiva quadro europea sui rifiuti (Direttiva 2008/98/CE), una strategia di gestione integrata e sostenibile dei rifiuti dovrebbe fondarsi sul seguente sistema gerarchico di azioni: 1) pre-

venzione e/o riduzione della quantità e della pericolosità dei rifiuti; 2) preparazione per il riutilizzo; 3) riciclo; 4) altre forme di recupero (ad esempio, recupero di energia); 5) smaltimento in discarica. Questo approccio gestionale gerarchico dovrebbe essere considerato anche per i differenti flussi di rifiuto industriale di origine manifatturiera (European Union, 2010), che sono inclusi nella classificazione ufficiale della Lista Europea dei Rifiuti aggiornata (Commissione delle Comunità Europee, 2000). Al livello legislativo europeo, la necessità di un'appropriata gestione dei rifiuti solidi nel settore industriale è peraltro confermata anche dalla Direttiva 2010/75/UE sulle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento). E' comunque generalmente riconosciuto che produzione e tecnologie meno inquinanti così come diverse opzioni di gestione integrata dei rifiuti industriali, quali prevenzione, minimizzazione del consumo di materie prime ed energia, e riciclaggio interno e/o esterno, siano obiettivi ambientali da raggiungersi anche nel settore industriale (Salhofer et al., 2010; Fresner, 1998; Yaw, 2005). L'implementazione di un approccio di produzione più pulito richiede certamente un generale miglioramento della disponibilità dei dati (Fresner, 1998). Dunque, la determinazione sia delle quantità che delle tipologie di rifiuti industriali prodotti (Salhofer, 2000) e la comprensione delle cause della loro generazione (Schramm, 1997) sono di fondamentale importanza, specialmente considerando che le informazioni riguardanti la produzione dei rifiuti per i diversi settori industriali sono spesso disponibili in misura limitata (Christensen, 2010).

Con specifico riferimento al distretto industriale della regione Marche (Italia Centrale, Costa Adriatica), dove l'Università di Urbino è collocata, un'attività particolarmente rinomata è rappresentata dal settore manifatturiero delle imbarcazioni diportistiche, ovvero barche a motore e barche a vela. Per l'anno 2008 e prima della contrazione dovuta alla crisi economica globale (UCINA, 2010), il settore marchigiano dell'industria diportistica è stato classificato come sesto tra le regioni italiane in termini di numero di addetti coinvolti nel settore medesimo (UCINA, 2009). In realtà, l'intero settore manifatturiero italiano delle imbarcazioni diportistiche è rinomato finanche al livello mondiale, avendo prodotto nel 2008 il quarto quantitativo più alto di imbarcazioni diportistiche dopo USA, Francia e Australia (UCINA, 2010).

Tra l'altro, va notato che la realizzazione di imbarcazioni diportistiche fa uso massivo di avanzati materiali compositi fibrorinforzati e termoindurenti che hanno particolari applicazioni anche in altri

rilevanti settori industriali e di attività, come l'industria automobilistica, l'industria aerospaziale, l'ingegneria civile e delle costruzioni, le strutture sportive e ricreative, e la generazione di energia eolica (Cunliffe et al., 2003; Cunliffe and Williams, 2004; Yang et al., 2012).

Utilizzando il settore marchigiano come caso di studio sperimentale e di riferimento, questo articolo è focalizzato sulla caratterizzazione dei rifiuti solidi da questo generati. I quantitativi annuali dei rifiuti industriali generati nel periodo di tempo monitorato sono stati raccolti sia per l'intero distretto regionale marchigiano che per tre aziende caso di studio, che sono state selezionate al fine di rappresentare l'uso di materiali compositi fibrorinforzati e la produzione di diversificati prodotti o componenti navali.

In particolare, nell'intervallo temporale di studio del presente lavoro, l'azienda caso di studio "1" si caratterizzava per la fabbricazione di barche a motore in fibra di vetro; l'azienda caso di studio "2" era specializzata nella realizzazione di barche a vela in fibra di carbonio altamente performanti; e l'azienda caso di studio "3" si occupava di produrre sia stampi femmina in fibra di vetro (prevalentemente adottati nell'attività di produzione in serie di imbarcazioni) che componenti strutturali d'imbarcazioni, anch'esse in fibra di vetro.

Sulla base dei dati disponibili, la generazione dei rifiuti è stata caratterizzata in modo parametrico derivando il cosiddetto *coefficiente di produzione dei rifiuti*, solitamente riferito al numero di addetti (Christensen, 2010; ANPA, 2002a; Lagerkvist et al., 2010). Per le aziende caso di studio "1" e "2", tale caratterizzazione parametrica è stata ampliata in modo originale, considerando due opzioni alternative basate sulle caratteristiche intrinseche delle barche prodotte, al fine di ottenere una maggiore correlazione del rifiuto specifico con il prodotto che lo genera. La valutazione parametrica della produzione dei rifiuti del settore ha permesso anche una contestuale analisi della composizione dei rifiuti medesimi, in termini di appropriate categorie merceologiche e correlate incidenze di peso. Infine, per alcune tipologie rappresentative di scarti sono state analizzate talune proprietà chimico-fisiche caratteristiche del rifiuto.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Selezione e raccolta dati

La caratterizzazione parametrica della generazione dei rifiuti nel settore marchigiano dell'industria

nautica da diporto si è basata sulla raccolta complessiva delle seguenti tre tipologie di dati: (1) dati qualitativi e quantitativi sui rifiuti prodotti annualmente sia dall'intero distretto regionale del settore manifatturiero da diporto sia dalle tre aziende caso di studio; (2) numero di addetti esclusivamente assegnati alla produzione delle imbarcazioni (ovvero, escludendo lo staff amministrativo impiegato nel medesimo settore) sia dell'intero distretto regionale marchigiano sia delle tre aziende caso di studio; e (3) alcuni dati fisici rappresentativi dei modelli di barca prodotti dalle aziende "1" e "2".

I quantitativi dei rifiuti regionali, disaggregati per singolo codice identificativo a 6 cifre, in base al suddetto Codice Europeo dei Rifiuti aggiornato (Commissione delle Comunità Europee, 2000), sono stati recuperati dal database delle dichiarazioni uniche ambientali, meglio note come MUD e annualmente presentate dalle varie attività produttrici di rifiuti presso le camere di commercio di pertinenza. Al livello regionale marchigiano, tale database viene aggiornato e controllato dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA Marche). In particolare, i dati MUD necessari al presente lavoro, sono stati selezionati interrogando il database con precise queries, in funzione degli ambiti territoriali presi in esame (ovvero, l'intera Regione Marche, le Province, e i Comuni marchigiani) ed ovviamente delle categorie economiche di attività identificanti, secondo codice ISTAT/ATECO, il settore manifatturiero delle imbarcazioni da diporto (precisamente, per il periodo antecedente il 2008, si è considerata la specifica categoria "DM 35.12, costruzione e riparazioni di imbarcazioni da diporto e sportive"; e a partire da Gennaio 2008, le due categorie "C 30.12, Costruzione di imbarcazioni da diporto e sportive" e "C 33.15, Riparazione e manutenzione di navi e imbarcazioni (esclusi i loro motori)").

Per le tre aziende caso di studio, le informazioni qualitative e quantitative relative ai rifiuti generati sono state recuperate dai registri annuali di carico e scarico, in cui i movimenti e le caratteristiche di ogni eventuale rifiuto devono essere annotate. Nello specifico (Cocca et al., 2008), il registro di carico ha la funzione principale di quantificare il rifiuto prodotto mentre quello di scarico, il rifiuto destinato al recupero/smaltimento, ovvero il rifiuto consegnato ad un'azienda specializzata nella gestione finale e/o smaltimento del medesimo.

I dati relativi ai rifiuti dell'intero distretto regionale marchigiano e delle aziende caso di studio "2" e "3" sono stati raccolti ed elaborati prendendo come periodo di riferimento il triennio 2007-2009. Per l'azienda caso di studio "1", che è stata espressa-

mente utilizzata nello studio come rappresentativa della costruzione di barche a motore, si è ritenuto di dover escludere, dalle rispettive elaborazioni, i dati relativi al 2008 dato che, in quel particolare anno, la suddetta azienda ha realizzato anche due unità di barche a vela (nonostante siano un numero limitato in confronto alle 10 barche a motore regolarmente prodotte nello stesso anno).

Nella ricerca del numero totale di addetti annualmente impiegati nell'intero settore manifatturiero delle imbarcazioni, i database di enti provinciali distribuiti nel territorio regionale come la Camera di Commercio di Pesaro-Urbino e gli Enti di Previdenza Sociale delle province di Pesaro-Urbino, Ancona, Macerata e Ascoli-Piceno, sono risultati risorser fondamentali di dati attendibili. Similmente, il numero annuale di addetti per le tre aziende caso di studio è stato fornito dalle stesse aziende.

Nella caratterizzazione fisica degli specifici modelli di barca a motore e barca a vela prodotti annualmente dalle aziende "1" e "2", rispettivamente, sono stati tenuti in considerazione i seguenti parametri geometrici: "lunghezza fuori tutto" ovvero, la lunghezza massima dell'imbarcazione misurata tra i punti estremi di prua e poppa (Tupper, 2004), "lunghezza al galleggiamento" ovvero, la lunghezza dell'imbarcazione misurata sul piano di galleggiamento della stessa tra l'estrema prua e l'estrema poppa (Tupper, 2004; Parker, 2003), "larghezza" ovvero, la larghezza (in coperta) di un'imbarcazione misurata in corrispondenza della sezione maestra, ove essa è più ampia (Parker, 2003), "pescaggio" ovvero, la misura della distanza del punto inferiore della chiglia alla linea d'acqua (Tupper, 2004) ed il parametro indicativo del peso di un'imbarcazione noto come "dislocamento" ovvero, il peso della massa d'acqua spostata dalla parte immersa di un'imbarcazione (Parker, 2003). Tali dati sono stati forniti direttamente da entrambe le aziende.

Infine, allo scopo di mappare la diffusione territoriale e la localizzazione del settore manifatturiero della nautica diportistica nella regione Marche, sono stati considerati anche i siti produttivi attivi nei differenti comuni regionali. Tali dati sono stati resi disponibili dalla Camera di Commercio di Pesaro-Urbino. La corrispondente elaborazione GIS è stata condotta utilizzando lo strumento informatico "uDig" (release 1.2, version M8).

2.2 Definizione e calcolo dei coefficienti specifici di produzione dei rifiuti

Innanzitutto, è stato derivato un tradizionale *coefficiente specifico di produzione per addetto* (CSP-

pA) in termini di t addetto⁻¹ anno⁻¹, come rapporto tra il quantitativo annuale di rifiuto, sia totale che differenziato secondo le *categorie* del summenzionato Codice Europeo dei Rifiuti (Commissione delle Comunità Europee, 2000), e il corrispondente numero di addetti nello stesso anno. Nello specifico, i quantitativi delle diverse categorie di rifiuto sono stati calcolati effettuando un'aggregazione (ovvero una somma) dei quantitativi di quei rifiuti che, all'interno dei MUD regionali o dei registri di carico e scarico esaminati, risultassero identificati da codici uguali nella prima coppia di cifre, ossia provenienti da una medesima fonte generatrice, secondo quanto indicato nel Codice Europeo dei Rifiuti (Commissione delle Comunità Europee, 2000). Si precisa, inoltre, che dalla suddetta elaborazione non sono stati mai esclusi i cosiddetti rifiuti pericolosi, ovvero quei rifiuti identificati da codici a 6 cifre espressamente contrassegnati con un asterisco nel Codice Europeo dei Rifiuti (Commissione delle Comunità Europee, 2000). In accordo a quanto riportato nel paragrafo 2.1 sulla raccolta dati, il calcolo del CSPpA è stato effettuato per l'intero settore manifatturiero della nautica diportistica marchigiana (anni 2007-2009) e separatamente per le tre aziende caso di studio (anni 2007-2009 per le aziende "2" e "3" ed anni 2007 e 2009 per l'azienda caso di studio "1").

In generale, il concetto di coefficiente di produzione dei rifiuti basato sul numero di addetti non è sempre la miglior opzione parametrica per la caratterizzazione dei flussi di rifiuto industriale. L'aggiornamento delle statistiche occupazionali ad una data scala territoriale, infatti, spesso risulta non costante e non regolare, e può anche rivelarsi piuttosto difficile individuare il numero di lavoratori effettivamente coinvolti nel ciclo produttivo (ANPA, 2002a). Inoltre, per attività commerciali e industriali, il concetto di coefficiente specifico potrebbe più accuratamente riflettere un fattore rilevante o una caratteristica determinante nella generazione di rifiuti, che sia importante nella progettazione fisica e realizzazione del prodotto (Christensen, 2010; Lagerkvist et al., 2010). Dunque, in luogo del numero di addetti, altre opzioni possono essere considerate per definire il denominatore del coefficiente di produzione dei rifiuti come, per esempio, il numero o le caratteristiche quantitative dei prodotti commerciali finali o le unità di servizio consumate nel ciclo produttivo (acqua di processo o energia elettrica) (ANPA, 2002a).

In quest'ottica, data la summenzionata disponibilità di alcune specifiche tecniche dei modelli di barca a motore dell'azienda caso di studio "1" e dei modelli di barca a vela dell'azienda caso di studio "2", due

originali opzioni del concetto di coefficiente specifico di produzione sono state ulteriormente introdotte ed elaborate. In particolare, per il *coefficiente specifico di produzione per unità di superficie* dell'imbarcazione (CSPpS), si è assunto che la superficie esterna complessiva dello scafo fosse il termine costituente il denominatore del coefficiente stesso. A tal proposito, è stata presa in considerazione la somma delle superfici delle componenti dell'imbarcazione rappresentate da fondo, lato, specchio di poppa e ponte. L'ampiezza di queste superfici è stata stimata, sia per le tipologie di barche a motore dell'azienda caso di studio "1" (Figura 1, lato superiore sinistro) che per quelle di barche a vela dell'azienda caso di studio "2" (Figura 1, lato inferiore sinistro), con un appropriato foglio di calcolo (Figura 1, lato destro) annesso ad un software di modellistica tridimensionale semplificata di tipo CAD, per mezzo delle succitate specifiche geometriche delle varie imbarcazioni disponibili.

Di conseguenza, il valore rappresentativo di superficie derivato per ogni modello di barca è stato moltiplicato per il numero intero o frazionario di barche a motore o a vela prodotte di anno in anno per il singolo modello. Sommando tutti i rispettivi valori di superficie in un dato anno, è stato possibile calcolare i valori approssimativi totali delle superfici rappresentative di barca realizzate dalle aziende di studio considerate durante ogni anno del periodo di osservazione. Quindi, considerando i rispettivi valori annuali del quantitativo totale dei rifiuti prodotti e, analogamente al calcolo del CSPpA, delle quantità delle diverse categorie di rifiuto riscontrate, il parametro CSPpS è stato derivato come $t m_{\text{barca}}^{-2} \text{anno}^{-1}$.

Per quanto concerne il *coefficiente di produzione di rifiuti per unità di peso* delle imbarcazioni (CSPpP), si è assunto, invece, che il dislocamento fosse il termine caratterizzante il denominatore del coefficiente specifico di produzione. Con una procedura del tutto simile a quella adottata per il precedente parametro CSPpS, il valore di dislocamento per ogni modello di barca è stato moltiplicato per il numero intero o frazionario di barche a motore o a vela realizzate di anno in anno per quel preciso modello. Sommando tutti i rispettivi valori di peso in un dato anno, è stato possibile calcolare i valori totali dei pesi delle imbarcazioni realizzate dalle aziende caso di studio considerate, durante ogni anno del periodo di osservazione. Di conseguenza, analogamente a quanto già specificato per il calcolo del CSPpA e del CSPpS, considerando le rispettive quantità annuali del totale e delle categorie dei rifiuti prodotti, il parametro CSPpP è stato ottenuto in termini di $t t_{\text{barca}}^{-1} \text{anno}^{-1}$.

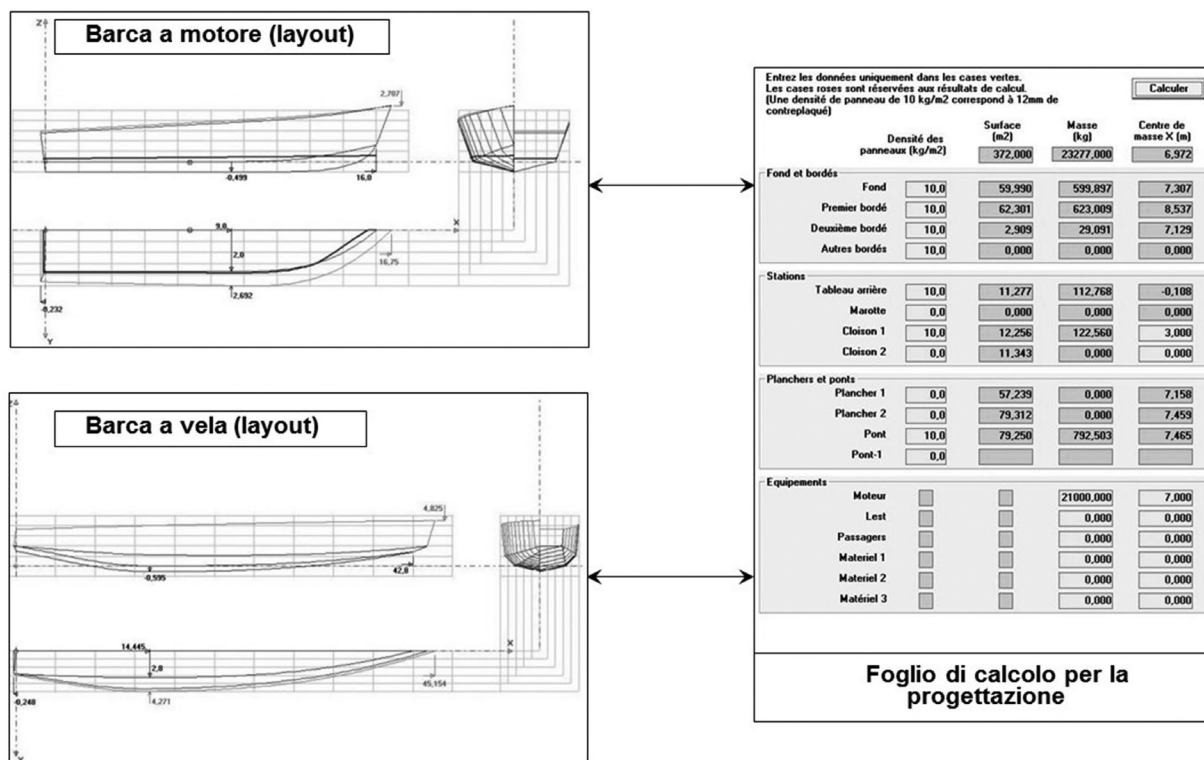


Figura 1 – Derivazione dell'originale parametro CSPpS: vista esemplificativa dei layouts di modellistica di una barca a motore (lato superiore sinistro) e di una barca a vela (lato inferiore sinistro) per il calcolo delle superfici delle componenti di un'imbarcazione per mezzo di un foglio di calcolo per la progettazione (lato destro, in lingua francese come nel software adottato) appropriatamente organizzato con un software CAD.

In merito alla suddivisione temporale delle barche realizzate negli anni di osservazione, bisogna puntualizzare che l'azienda caso di studio "1" ha sempre prodotto un numero intero di modelli di barca durante ogni anno considerato. Diversamente, la produzione di grandi barche a vela ad alta performance da parte dell'azienda caso di studio "2", avente un profilo di produzione personalizzata, ha regolarmente richiesto più di un anno per ogni modello di barca. E' stata così messa a punto, al fine di calcolare i rispettivi valori annuali dei parametri CSPpS e CSPpP, una procedura originale per stimare approssimativamente il frazionamento annuale della realizzazione pluriennale di ogni barca a vela prodotta da questa azienda.

Come mostrato nella Figura 2, l'intera procedura adottata è consistita dei seguenti passaggi sequenziali: 1) è stata dedotta per ogni modello di barca a vela una *velocità definibile di costruzione media giornaliera* (del tipo giorno⁻¹) sulla base del numero totale di giornate che si sono rese effettivamente necessarie per costruire la data unità produttiva nel periodo pluriennale: 2) tale valore di velocità media giornaliera è stato moltiplicato per il numero specifico di giorni,

all'interno del singolo anno, utilizzati per costruire la data unità di barca a vela; ripetendo tale calcolo per ogni anno del periodo di riferimento, sono stati stimati dei valori frazionari annuali adimensionali di produzione di ogni singola barca a vela; 3) questi valori di frazionamento ottenuti per ogni singola unità sono stati moltiplicati per la superficie o il peso rappresentativi dell'imbarcazione; ed infine 4) i risultanti valori moltiplicativi (m² o t) delle differenti unità di barca a vela prodotte sono stati sommati anno per anno al fine di ottenere i valori annuali dei denominatori dei parametri CSPpS e CSPpP.

2.3 Caratterizzazione delle proprietà di peculiari tipologie di scarti di materiali nautici

Il ciclo produttivo di un'imbarcazione, consiste essenzialmente di 5 fasi, ovvero: 1) costruzione dei modelli delle varie componenti (scafo, coperta e sovrastruttura); 2) costruzione degli stampi (sulla base dei modelli) delle varie componenti; 3) realizzazione dei manufatti mediante stratificazione delle matrici (resine) e dei rinforzi (fibre); 4) assemblaggio dei manufatti; 5) operazioni di carrozzeria finale. Le

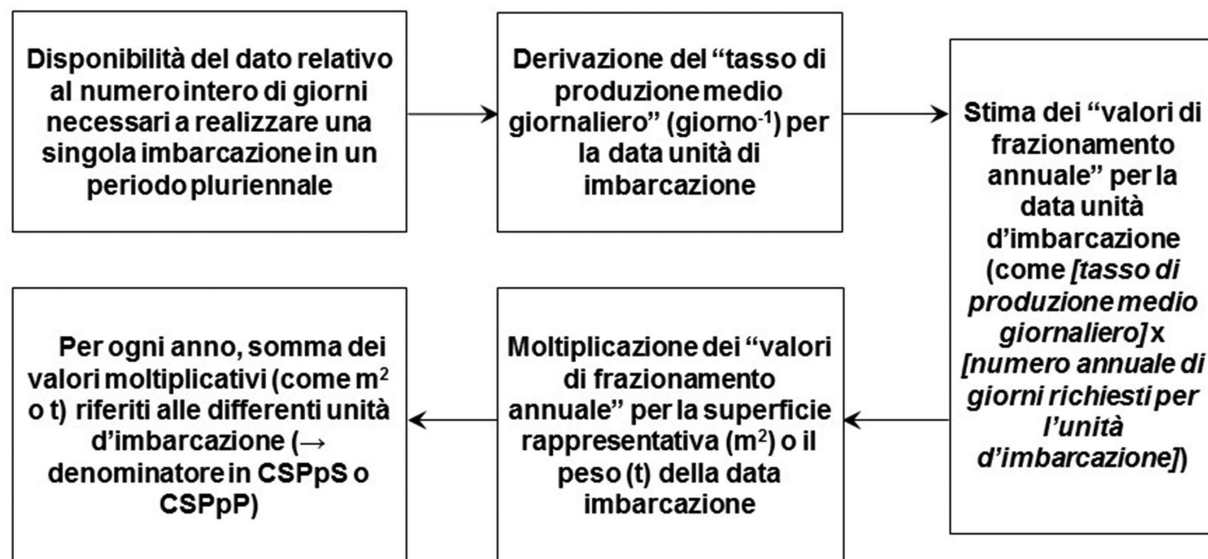


Figura 2 – Azienda caso di studio “2”, derivazione dei parametri CSPpS e CSPpP: procedura sequenziale completa applicata per il necessario frazionamento annuale delle caratteristiche di superficie e dislocaimento correlate ad ogni unità di barca a vela regolarmente realizzata su di un periodo pluriennale.

prime due fasi hanno generalmente luogo qualora si produca una nuova tipologia d’imbarcazione dunque, ove si necessiti di stampi nuovi e/o con caratteristiche specifiche. In particolare, esse sono tipiche di quelle realtà aziendali in cui la produzione è del tipo “su richiesta del cliente”. Le altre tre fasi lavorative, invece, sono da considerarsi standard, ossia proprie sia di un profilo di produzione in serie che di un profilo di produzione personalizzata.

Considerando che le aziende selezionate in questo caso di studio hanno sempre affidato la costruzione dei modelli a ditte terziste (come sempre accade per questa tipologia di aziende), l’analisi dei loro processi produttivi è stata focalizzata sulle fasi 2-5 per le aziende “1” e “2” e sulle fasi 2-3 e 5 per l’azienda caso di studio “3”, che non effettuava, come premesso, l’assemblaggio delle varie componenti. L’azienda “1”, in particolare, era caratterizzata, al momento dello studio, da un’ampia produzione in serie di barche a motore di dimensioni contenute e dall’utilizzo di stampi di tipo femmina ciclicamente riutilizzabili. La realizzazione dei manufatti inoltre, operata per intero dall’azienda medesima, avveniva prevalentemente per mezzo di infusione sotto vuoto della resina attraverso gli strati in fibra di vetro così come anche tramite la più tradizionale laminazione manuale con rulli e spatole. L’azienda caso di studio “2”, invece, era caratterizzata da una produzione di barche a vela su specifica richiesta del cliente, di rilevanti dimensioni e con alte qualità e performance, e da un processo manifatturiero basato sull’uso di stampi maschi differenti l’uno dall’altro e volti

a divenire rifiuto dopo la produzione di una barca individuale. La costruzione dei singoli manufatti, anche in questo caso operata per intero dall’azienda medesima, veniva effettuata principalmente tramite l’utilizzo di tessuti pre-preg, ossia tessuti in fibra di carbonio preimpregnati di resina, che una volta sottoposti a riscaldamento in forno fino ad 80-120°C, induriscono a temperatura ambiente per via del processo di catalisi. L’azienda caso di studio “3”, altresì, operava analogamente all’azienda “1” quindi con stampi di tipo femmina e costruzione dei manufatti per infusione e laminazione tradizionale, con l’unica differenza che le singole componenti realizzate non venivano mai assemblate in un unico prodotto finale.

Elementi comuni alle tre aziende erano: l’inserimento di strutture di tipo sandwich contenenti schiuma in Poli-Vinil-Cloruro (PVC), quale riempitivo, in peculiari zone delle componenti delle imbarcazioni durante la fase di laminazione, così come le operazioni di carteggiatura, levigatura e rifinitura delle superfici delle varie componenti realizzate.

Sulla base di quanto appena esposto e ai fini di una caratterizzazione chimico-fisica, sono stati ritenuti qualitativamente tipici e rappresentativi dei peculiari rifiuti solidi che solitamente si generano durante le principali fasi del ciclo produttivo di un’imbarcazione, i seguenti materiali residuali: 1) schiuma in Poli-Vinil-Cloruro (PVC) cross-linked, una tipologia rappresentativa di materiale riempitivo o “core” utilizzata nelle strutture di tipo sandwich di diverse componenti fondamentali di una

barca quali il ponte, le sovrastrutture, il fondo e i fianchi dello scafo, le paratie e lo specchio di poppa (Gundberg, 2004); 2) resina indurita, un materiale che tipicamente residua dopo il processo di laminazione con tecnica di infusione sotto vuoto (Marshall, 2010); 3) materiale composito in vetro-resina, costituito di fibre di vetro immerse in una matrice di resina (Eric Greene Associates, 1999); 4) materiale “pre-preg” in fase post-curing, ovvero materiale composito in fibra di carbonio preimpregnato con apposita resina e successivamente sottoposto a trattamento termico (Eric Greene Associates, 1999); e 5) polvere di carteggiatura, derivante dalle operazioni finali di levigatura e lucidatura delle componenti già verniciate (Marshall, 2010). Tali materiali. La Figura 3 illustra uno schema ideato delle specifiche tappe produttive di un'imbarcazione con questi materiali e le ragioni alla base della generazione degli scarti connessi.

Per queste tipologie di materiali di scarto, sono state determinate le seguenti proprietà chimico-fisiche: peso specifico, umidità, contenuto di ceneri, potere calorifico superiore (PCS), e potere calorifico inferiore (PCI). Escludendo la polvere di carteggiatura, il peso specifico è stato definito usando piccole porzioni di materiale di forma rettangolare. Il contenuto di umidità dei vari campioni è stato determinato per essiccazione in stufa a 105°C, dopo triturazione degli stessi (la triturazione non si è resa necessaria per la polvere di carteggiatura, poiché già in forma polverosa originariamente). Il contenuto in ceneri, invece, è stato stimato per incenerimento in muffola (Cicconetti, 1990). Ogni campione è stato inoltre sottoposto ad analisi elementare (Tchobanoglous et al., 1993) al fine di determinarne il potere calorifico. Il PCS è stato calcolato come valore medio delle tre stime (su base umida) date dalle equazioni di Chang, Boie e di DuLong modificata, secondo lo specifico foglio di calcolo che è stato sviluppato e incluso in Niessen (2002). In conclusione, il PCI è stato dedotto dalla correlazione PCS-PCI (dipendente dal calore latente di vaporizzazione dell'acqua) riportata in d'Antonio (1997).

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1 Distribuzione territoriale dei siti produttivi dell'industria nautica diportistica nella Regione Marche

La mappa in Figura 4 mostra la distribuzione territoriale dei siti produttivi dell'industria nautica diportistica nelle differenti aree comunali della Regione Marche, con riferimento all'anno 2009. In particolare, la densità maggiore dei siti di produ-

zione risulta collocata nella fascia costiera superiore, appartenente al territorio provinciale di Pesaro-Urbino, ove il comune di Fano è caratterizzato da ben 42 unità produttive, seguito dai comuni di Pesaro e Mondolfo con 15 e 10 unità produttive, rispettivamente. Il comune amministrativo regionale di Ancona nella zona costiera centrale comprende, nel suddetto anno, 18 siti produttivi, mentre le località costiere di Civitanova Marche, San Benedetto del Tronto, e Fermo, tutte collocate nella fascia costiera inferiore, sono caratterizzate da 13, 9 e 6 siti produttivi, rispettivamente. Quale altra area produttiva rilevante è emersa quella collocata vicino al territorio costiero superiore e sempre all'interno del territorio provinciale di Pesaro-Urbino, dove il centro di Saltara presenta 14 siti produttivi mentre i centri di Cartoceto e Monte Porzio ognuno 8 siti produttivi. Per ciò che concerne le aziende caso di studio, entrambe le aziende “2” e “3” erano ubicate, all'epoca del presente studio, nella principale area produttiva regionale rappresentata dal comune di Fano, mentre l'azienda “1” era collocata nell'area di Monte Porzio.

3.2 Caratterizzazione parametrica della produzione di rifiuti nel settore nautico marchigiano

3.2.1 CSPpA

I diagrammi in Figura 5 mostrano i valori del *coefficiente specifico di produzione per addetto* (CSPpA) ottenuti per l'intero settore nautico marchigiano e per le tre aziende caso di studio, con riferimento sia ai quantitativi totali annuali di rifiuti che ai quantitativi riconducibili alle categorie di rifiuto rappresentate da codici a due cifre nel già menzionato Codice Europeo dei Rifiuti (Commissione delle Comunità Europee, 2000). Le categorie di rifiuto a due cifre, caratterizzanti il settore di studio, sono espresse nella Tabella 1.

Per il periodo di osservazione considerato (2007-2009), i valori del CSPpA in termini di rifiuto totale per l'intero settore nautico marchigiano (Figura 5, lato superiore sinistro) ricadono nell'intervallo di 0,85-1,96 t addetto⁻¹ anno⁻¹, con un valore medio di 1,47 t addetto⁻¹ anno⁻¹. In termini di categorie di rifiuto, la Figura 5 (sempre nel lato superiore sinistro) mostra che la più alta incidenza si verifica per la categoria “15” (ovvero, rifiuti di imballaggio; assorbenti; stracci, materiali filtranti e indumenti protettivi; si osservi la Tabella 1), seguita in ordine di rilevanza dai codici “07” (ovvero rifiuti dei processi chimici organici; si osservi la Tabella 1), “03” (ovvero, rifiuti della lavorazione del legno e

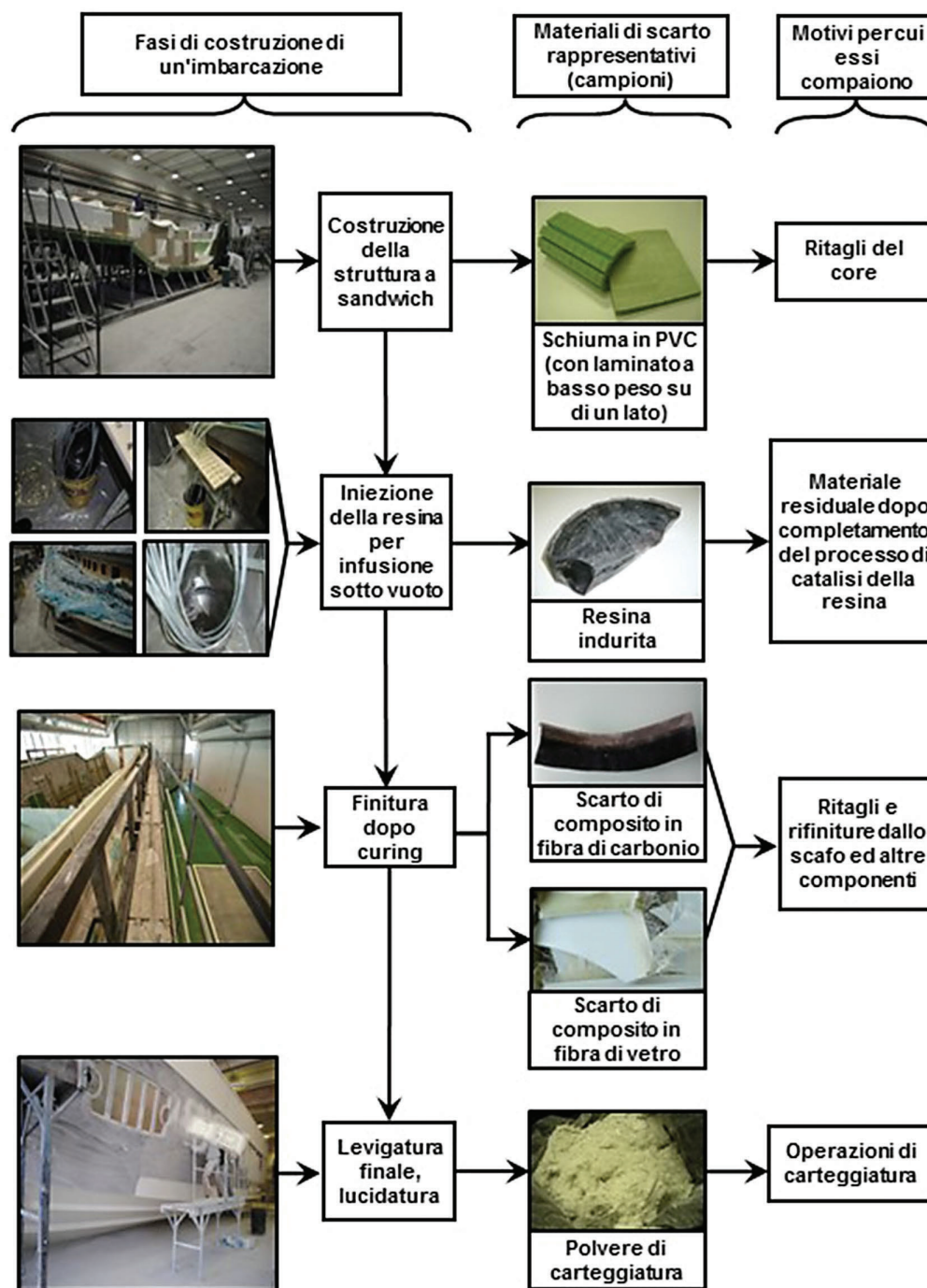


Figura 3 – Peculiari materiali di scarto connessi con le tipiche fasi di costruzione di un'imbarcazione e le motivazioni per cui essi si generano.

della produzione di pannelli, mobili, polpa, carta e cartone; si osservi la Tabella 1), "17" (ovvero, rifiuti delle operazioni di costruzione e demolizione; si osservi la Tabella 1), e "08" (ovvero rifiuti della produzione, formulazione, fornitura ed uso di rivestimenti (pitture, vernici e smalti vetrati), adesivi, sigillanti, e inchiostri per stampa; si osservi la Tabella 1). In particolare, le seguenti tipologie specifiche di rifiuto con codici a 6 cifre (Commissione delle Comunità Europee, 2000) presentano com-

parativamente incidenze predominanti all'interno delle rispettive categorie di rifiuto: (1) "150106" (ovvero imballaggi in materiali misti), "150103" (ovvero imballaggi in legno), "150104" (ovvero imballaggi metallici), e "150101" (ovvero imballaggi in carta e cartone) all'interno della categoria "15"; (2) "070213" (ovvero rifiuti plastici) all'interno della categoria "07"; (3) "030105" (ovvero segatura, trucioli, residui di taglio, legno, pannelli di truciolare e piallacci) all'interno della categoria

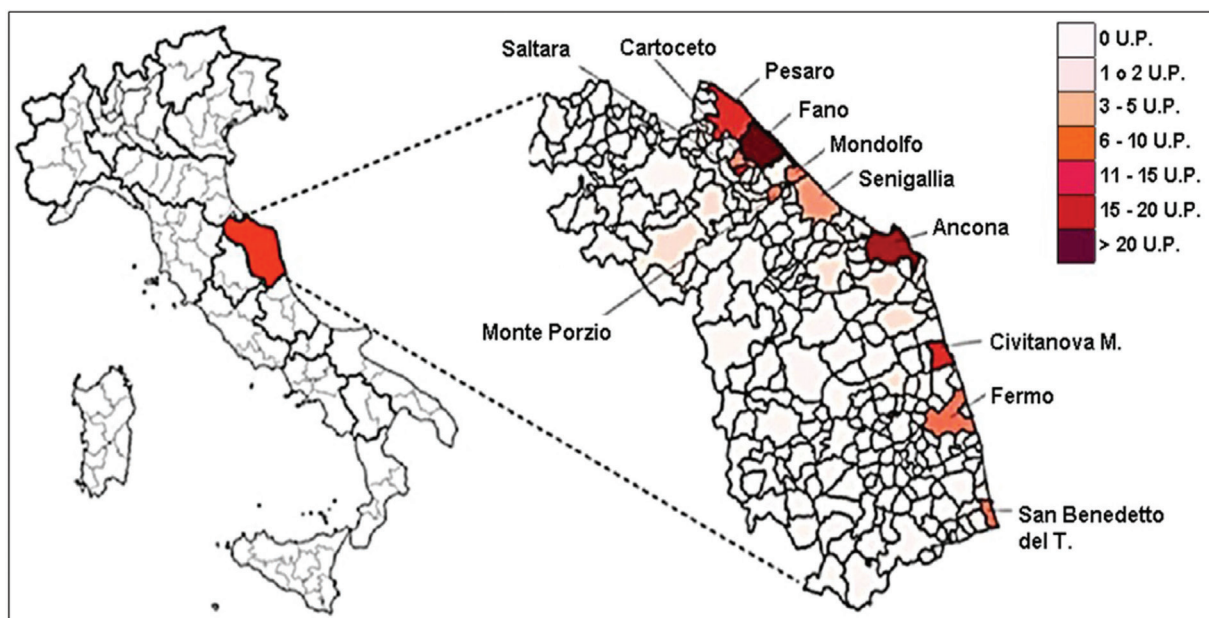


Figura 4 – Densità territoriale delle Unità Produttive (U.P.) del settore manifatturiero diportistico della Regione Marche distribuite nelle differenti aree municipali (anno di monitoraggio 2009).

“03”; (4) “170405” (ovvero ferro e ferro e acciaio) e “170201” (ovvero legno) all’interno della categoria “17”; e (5) “080111*” (pitture e vernici di scarto, contenenti solventi organici o altre sostanze pericolose) e “080409*” (adesivi e sigillanti di scarto, contenenti solventi organici o altre sostanze pericolose) all’interno della categoria “08”.

Nonostante l’esistenza di uno specifico codice a 6 cifre per i rifiuti da materiali in fibra di vetro (ov-

vero “101103, scarti di materiali in fibra a base di vetro” (Commissione delle Comunità Europee, 2000)), i peculiari rifiuti rappresentati dagli scarti di materiale composito in fibra di carbonio non sono univocamente identificati nel Codice Europeo dei Rifiuti (Commissione delle Comunità Europee, 2000) e vengono verosimilmente inclusi nella predominante tipologia dei rifiuti plastici della su menzionata categoria “07” dei rifiuti da processi

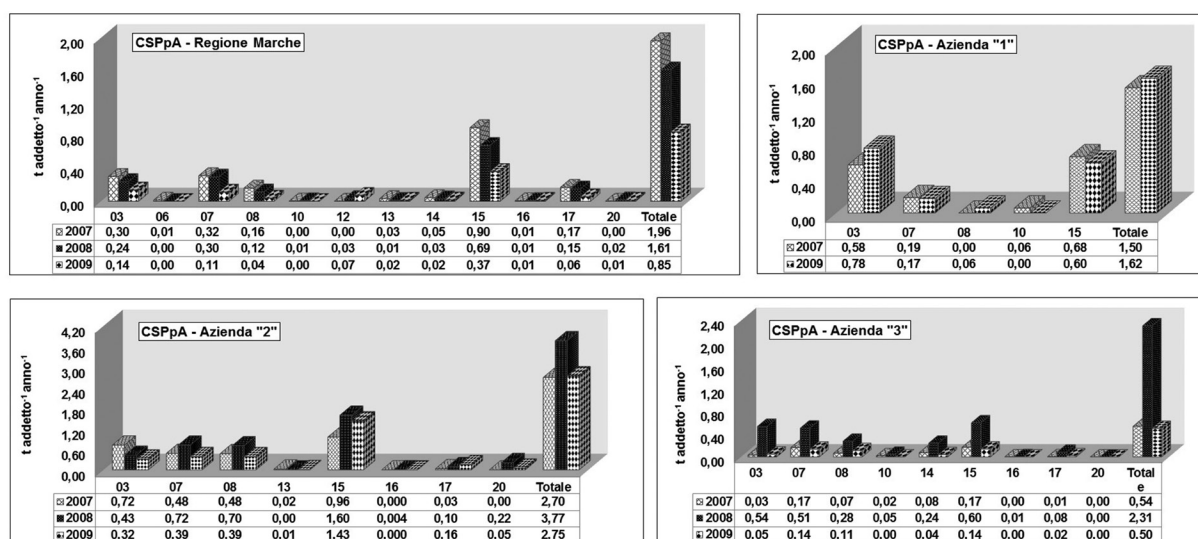


Figura 5 – Valori annuali risultanti di CSPpA riferiti all’intero distretto della nautica diportistica della Regione Marche (lato superiore sinistro), azienda caso di studio “1” (lato superiore destro), azienda caso di studio “2” (lato inferiore sinistro), e azienda caso di studio “3” (lato inferiore destro). Le categorie di rifiuto sugli assi orizzontali sono estensivamente esplicate nella Tabella 1.

chimici organici. In realtà le resine polimeriche generalmente combinate con le fibre di vetro o di carbonio per produrre i materiali compositi utilizzati nella costruzione delle imbarcazioni sono da considerarsi materiali organici, data la loro origine da frazioni di gas naturale o olio grezzo (Halliwen, 2006; Leszczyński and Brzychczyk, 2007).

Conseguentemente, l'interpretazione della normativa ambientale, per esempio, la Direttiva 99/31/CE relativa alle discariche di rifiuti, riguardante il controllo e la limitazione della deposizione in discarica delle varie tipologie di rifiuti (Pimenta and Pinho, 2011), ha probabilmente comportato per i rifiuti compositi che venissero effettivamente classificati come materiali organici in molti paesi Europei (Halliwen, 2006; Pickering, 2006).

Un'aggregazione appropriata di quei rifiuti aventi codici a 6 cifre espressamente contrassegnati con un asterisco nel Codice Europeo dei Rifiuti (Commissione delle Comunità Europee, 2000) ha permesso di valutare anche l'incidenza dei rifiuti pericolosi nel settore manifatturiero della nautica marchigiana. Le percentuali in peso sono risultate limitate a valori come 9,5%, 8,0%, e 10,6% dei rifiuti totali prodotti per la costruzione di barche da diporto negli anni 2007, 2008, e 2009, rispettivamente. Dettagli sui quantitativi dei rifiuti pericolosi prodotti, disaggregati per singolo codice a 6 cifre, sono forniti nella Tabella MS1 (materiale supplementare).

All'interno delle principali categorie di rifiuto emerse dallo studio, le tipologie quantitativamen-

te predominanti sono risultate in discreto accordo, in termini di composizione di materiali, con uno sondaggio qualitativo, condotto per l'industria nautica diportistica nella Regione dell'Auckland, Nuova Zelanda (Waitakere City Council, 2004). Basato sulla raccolta di appositi questionari, questo sondaggio evidenzia infatti le seguenti tipologie di materiali di scarto generabili: 1) per quanto concerne i rifiuti solidi, materiali compositi in fibra di vetro, legno, materiali da imballaggio, metalli e polveri; e 2) riguardo ai rifiuti liquidi, vernici, acetone ed altri solventi. In realtà, dal punto di vista quantitativo, la caratterizzazione delle principali tipologie di rifiuto dell'intero settore nautico marchigiano si è rivelata in buon accordo con un altro sondaggio quantitativo condotto per l'industria nautica diportistica in fibra di vetro collocata nel Sud Ovest in Nova Scozia, Canada (Doucette and Deveau, 2004). Questa indagine canadese, effettuata mediante visite ai cantieri di costruzione per il completamento di uno specifico questionario, menziona infatti le seguenti comuni tipologie di rifiuto per l'industria manifatturiera nautica: frammenti e polvere di vetroresina, cartoni da imballaggio, contenitori di materiali e lattine, scarti ed imballaggi in legno, rifiuti metallici, schiume plastiche, acetone, scarti di vernice, residui di resina e gel coat, così come guanti, stracci, e rulli. Per l'azienda caso di studio "1" (Figura 5, lato superiore destro), focalizzata esclusivamente sulla costruzione di barche a motore in fibra di vetro durante i due anni di monitoraggio assunti, i

Tabella 1 – Capitoli dell'elenco dei rifiuti (secondo Codice Europeo dei Rifiuti) caratterizzanti nel complesso i rifiuti generati dal settore nautico diportistico della regione Marche.

Capitoli in ordine progressivo	Descrizione della categoria di rifiuto
03	Rifiuti della lavorazione del legno e della produzione di pannelli, mobili, polpa, carta e cartone
06	Rifiuti dei processi chimici inorganici
07	Rifiuti dei processi chimici organici
08	Rifiuti della produzione, formulazione, fornitura ed uso di rivestimenti (pitture, vernici e smalti vetrati), adesivi, sigillanti, e inchiostri per stampa
10	Rifiuti provenienti da processi termici
12	Rifiuti prodotti dalla lavorazione e dal trattamento fisico e meccanico superficiale di metalli e plastiche
13	Oli esauriti e residui di combustibili liquidi
14	Solventi organici, refrigeranti e propellenti di scarto
15	Rifiuti di imballaggio; assorbenti; stracci, materiali filtranti e indumenti protettivi
16	Rifiuti non specificati altrimenti nell'elenco
17	Rifiuti delle operazioni di costruzione e demolizione
20	Rifiuti urbani inclusi i rifiuti della raccolta differenziata

valori del parametro CSPpA, in rapporto al rifiuto totale, sono risultati 1,50 e 1,62 t addetto⁻¹ anno⁻¹ per gli anni 2007 e 2009, rispettivamente, con un valore medio di 1,56 t addetto⁻¹ anno⁻¹. Quanto alle categorie di rifiuto, il corrispondente diagramma in Figura 5 (lato destro superiore) mostra che solo 5 categorie codificate a 2 cifre caratterizzano i rifiuti prodotti da questa azienda. In particolare, le categorie aventi codici “03” e “15”, seguite dal codice “07”, risultano le più copiose, in linea con quanto già riscontrato per l'intero settore nautico marchigiano.

Con riferimento, invece, all'azienda caso di studio “2” (Figura 5, lato inferiore sinistro), specializzata nella costruzione di barche a vela in fibra di carbonio di elevata qualità e altamente performanti, i valori annuali del parametro CSPpA, in termini di rifiuti totali, per il triennio 2007-2009, risultano compresi nell'intervallo 2,70-3,77 t addetto⁻¹ anno⁻¹, con un valore medio di 3,07 t addetto⁻¹ anno⁻¹. In accordo al corrispondente diagramma in Figura 5 (lato inferiore sinistro), otto categorie di rifiuto caratterizzano la generazione di rifiuti da parte di quest'azienda, tra cui il codice “15” risulta il più abbondante, seguito dai codici “07”-“08” e “03”. È interessante notare come il valore rappresentativo medio del parametro CSPpA (ossia, 3,07 t addetto⁻¹ anno⁻¹) sia significativamente più alto di quello dell'azienda “1” (ovvero, 1,56 t addetto⁻¹ anno⁻¹), indicando dunque una maggiore produzione specifica di rifiuti nella realizzazione di barche a vela altamente performanti rispetto a quella delle barche a motore. Questa ipotesi sembra congruente con il particolare profilo dell'azienda caso di studio “2” (ampiamente illustrato nel paragrafo 2.3 del presente lavoro), ossia sembra essere fortemente legata alla necessità, che l'azienda medesima aveva, di ricorrere all'uso di stampi maschi sempre differenti l'uno dall'altro e dunque non più utilizzabili dopo la produzione delle singole barche, ognuna realizzata secondo le particolari e specifiche richieste del cliente. D'altro canto, si ribadisce che l'azienda caso di studio “1” era invece caratterizzata, al momento dello studio, da una produzione in serie e non di tipo personalizzato di barche a motore, aventi peraltro dimensioni più piccole rispetto alle barche a vela e costruite mediante l'utilizzo di stampi femmina riutilizzabili, con un conseguente quantitativo finale di rifiuti certamente più contenuto.

Con riguardo all'azienda caso di studio “3” (Figura 5, lato inferiore destro), specializzata nella produzione di componenti in fibra di vetro necessarie al processo manifatturiero dell'imbarcazione, i valori annuali del CSPpA in termini di rifiuti totali

per il periodo di osservazione considerato (2007-2009) variano tra 0,50 e 2,31 t addetto⁻¹ anno⁻¹ con un consistente picco nell'anno 2008. Il picco del 2008 è verosimilmente attribuibile ad un considerevole incremento annuale del flusso di produzione aziendale come indirettamente confermato da un incremento annuale registrato del numero di addetti dal 2007 al 2008. Effettivamente, sulla base dei dati ufficiali di vendita dell'intero settore manifatturiero della nautica diportistica nel periodo 2007-2009, la produzione nazionale dei relativi materiali di base, inclusi i materiali compositi caratteristici dell'azienda caso di studio “3”, ha registrato un considerevole picco nell'anno intermedio del 2008 (UCINA, 2008, 2009, 2010). Nello specifico, il valore medio del CSPpA di 1,12 t addetto⁻¹ anno⁻¹ per questa azienda e sulla base del triennio di monitoraggio è inferiore a quello rappresentativo dell'azienda “1” (ovvero 1,56 t addetto⁻¹ anno⁻¹). Questa condizione comparativa è probabilmente riconducibile al fatto che l'azienda caso di studio “3” fosse esclusivamente dedicata alla realizzazione di componenti in fibra di vetro e stampi, mentre l'azienda caso di studio “1” gestisse l'intero ciclo di costruzione delle barche in fibra di vetro. In termini di categorie di rifiuto, il corrispondente diagramma in Figura 5 (lato inferiore destro) mostra la presenza complessiva di otto categorie a due cifre caratterizzanti l'azienda caso di studio “3”, con un'incidenza prevalente dei codici “15”, “07”, “03”, e “08”. Le incidenze percentuali in peso dei rifiuti pericolosi sul totale dei rifiuti, per le tre aziende di studio, sono risultate pari ai seguenti valori: 0,0% e 7,0% con riferimento agli anni 2007 e 2009, rispettivamente, per l'azienda “1”; 1,3%, 0,0% e 1,1%, con riferimento agli anni 2007, 2008 e 2009, rispettivamente, per l'azienda “2”; 37,0%, 24,5% e 24,9%, con riferimento agli anni 2007, 2008 e 2009, rispettivamente, per l'azienda “3”. È evidente come le incidenze di tale ultima azienda siano sensibilmente più alte di quelle calcolate per le aziende “1” e “2”: è probabile che la produzione di un'ingente pluralità di stampi femmina così come di componenti, ed il non dover ottemperare alle fasi di assemblaggio e carrozzeria del manufatto finale abbiano comportato per l'azienda “3” un accumulo massivo e più rapido di rifiuti pericolosi durante ogni annualità di studio. I quantitativi dettagliati dei vari rifiuti pericolosi prodotti dalle tre aziende, disaggregati per singolo codice a 6 cifre, sono forniti in Tabella MS2 (materiale supplementare). In maniera interessante, è stata condotta anche una stima indiretta del CSPpA dell'intero settore regionale della nautica diportistica marchigiana sulla base di una media pesata dei rappresentati-

vi valori medi del CSPpA derivati separatamente per le aziende caso di studio, che sono indicative di un costruttore completo di barche a motore (ovvero azienda caso di studio “1”), un costruttore completo di barche a vela (ovvero azienda caso di studio “2”), ed un costruttore di stampi e componenti strutturali (ovvero azienda caso di studio “3”), rispettivamente. In particolare, la procedura di stima adottata in Figura 6 ha assunto il seguente: 1) la ripartizione dell’intero settore regionale marchigiano tra produttori di intere imbarcazioni e produttori di stampi e componenti strutturali sulla base delle rispettive vendite di produzione disponibili per l’anno 2007 (Fortezza, 2009) per il distretto provinciale nord di Pesaro-Urbino (essendo tale distretto predominante all’interno del settore regionale di studio, in accordo alla mappatura territoriale in Figura 4 ed al numero medio provinciale di addetti durante il periodo 2007-2009, che era circa l’81% del numero totale regionale); 2) l’ulteriore ripartizione, al livello regionale, tra produttori di barche a motore e produttori di barche a vela secondo le rispettive vendite di produzione che sono ufficialmente disponibili per tutto il settore manifatturiero diportistico italiano per il periodo di monitoraggio considerato 2007-2009 (UCINA, 2010). Si può notare come il CSPpA regionale di $1,42 \text{ t addetto}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, indirettamente stimato mediante tale procedura di media pesata (Figura 6), sia vicino al summenzionato valore medio di $1,47 \text{ t addetto}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ direttamente derivato in Figura 5 (diagramma al lato sinistro superiore), con una relativa differenza risultante (ovvero $[(\text{valore}_{\max} - \text{valore}_{\min})/(\text{valore}_{\max})] \times 100$) limitata al 3,4%. Tenendo in considerazione le assunzioni fatte, questa similarità risultante indica una certa attendibilità dei dati raccolti ed elaborati nelle rispettive forme, indipendenti o accoppiate, delle dichiarazioni MUD aggregate e dei dati impiegatizi per l’intero distretto regionale marchigiano, dei registri individuali di carico e scarico e dei dati sugli addetti per le aziende caso di studio.

3.2.2 CSPpS e CSPpP

I due diagrammi superiori in Figura 7 mostrano i valori di *coefficiente specifico di produzione per unità di superficie dell’imbarcazione* (CSPpS) ottenuti per le aziende caso di studio “1” e “2”. Per l’azienda caso di studio “1” (Figura 7, lato superiore sinistro), i valori annuali del CSPpS in termini di rifiuto totale sono $0,060$ e $0,052 \text{ t m}_{\text{barca}}^{-2} \text{ anno}^{-1}$ per gli anni 2007 e 2009, rispettivamente, con un corrispondente valore medio di $0,056 \text{ t m}_{\text{barca}}^{-2} \text{ anno}^{-1}$ ($0,06 \text{ t m}_{\text{barca}}^{-2} \text{ anno}^{-1}$ per arrotondamento

a due cifre decimali). Per l’azienda caso di studio “2” (Figura 7, lato superiore destro), i valori annuali del CSPpS in termini di rifiuto totale per tutto il periodo di osservazione (2007-2009) ricadono nell’intervallo $0,23-0,46 \text{ t m}_{\text{barca}}^{-2} \text{ anno}^{-1}$, con un corrispondente valore medio di $0,35 \text{ t m}_{\text{barca}}^{-2} \text{ anno}^{-1}$. Al fine di comparare l’ordine di grandezza dei valori di CSPpS ottenuti, si riportano dalla letteratura tecnico-scientifica per alcuni altri settori di attività, i seguenti coefficienti unitari di produzione, analogamente pertinenti ad una unità di superficie fisica: valori bassi come $0,0005 \text{ t m}_{\text{superficie verniciata}}^{-2}$ e $0,003 \text{ t m}_{\text{piastrella}}^{-2}$ sono attribuibili all’industria dei veicoli a motore (anno di riferimento 1999) e all’industria ceramica (riferito agli anni ’90), rispettivamente (ANPA, 2002a); valori intermedi compresi nell’intervallo $0,023-0,050 \text{ t m}_{\text{pavimento}}^{-2}$ sono riferibili alle attività di costruzione e rinnovamento/rimodellamento (come determinato attorno al 1990) (Christensen and Andersen, 2010); valori più alti nell’intervallo $1,63-1,76 \text{ t m}_{\text{demolito}}^{-2}$ si riscontrano invece, per le correlate attività di demolizione (come determinato intorno al 1990) (Christensen and Andersen, 2010).

Per quanto concerne l’alternativo *coefficiente specifico di produzione per unità di peso dell’imbarcazione* (CSPpP), i corrispondenti valori annuali ottenuti per le aziende caso di studio “1” e “2” sono mostrati nelle due immagini inferiori della Figura 7. Per l’azienda caso di studio “1” (Figura 7, lato inferiore sinistro), i valori di CSPpP risultano essere $0,52$ e $0,45 \text{ t t}_{\text{barca}}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ per gli anni 2007 e 2009, rispettivamente, con un risultante valore medio di $0,49 \text{ t t}_{\text{barca}}^{-1} \text{ anno}^{-1}$. Diversamente, i valori annuali di CSPpP per l’azienda caso di studio “2” ricadono nell’intervallo $1,64-3,49 \text{ t t}_{\text{barca}}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ per il periodo di monitoraggio 2007-2009 (Figura 7, lato inferiore destro), con un corrispondente valore medio di $2,71 \text{ t t}_{\text{barca}}^{-1} \text{ anno}^{-1}$. Per un utile confronto dei valori di CSPpP ottenuti con quelli di altri settori manifatturieri, si riportano, da letteratura tecnico-scientifica, i seguenti coefficienti unitari di produzione espressamente basati sul peso del prodotto: l’ampio intervallo $0,07-0,89 \text{ t t}_{\text{carta}}^{-1}$ è tipico dell’industria manifatturiera della carta velina (ANPA, 2002a); valori di $0,24$ e $0,27 \text{ t t}_{\text{macchina}}^{-1}$ sono rappresentativi, per l’anno 2000, dell’industria automobilistica di macchine compatte e sub-compatte, rispettivamente (ANPA, 2002b); il valore medio di $0,68 \text{ t t}_{\text{tessuti}}^{-1}$ appare come caratteristico dell’industria tessile della lana nel periodo di riferimento 1991-1996 (ANPA, 2002a); e l’elevato valore di $5,67 \text{ t t}_{\text{cuoio}}^{-1}$ risulta peculiare per l’industria di lavorazione del cuoio (Kanagaraj et al., 2006).

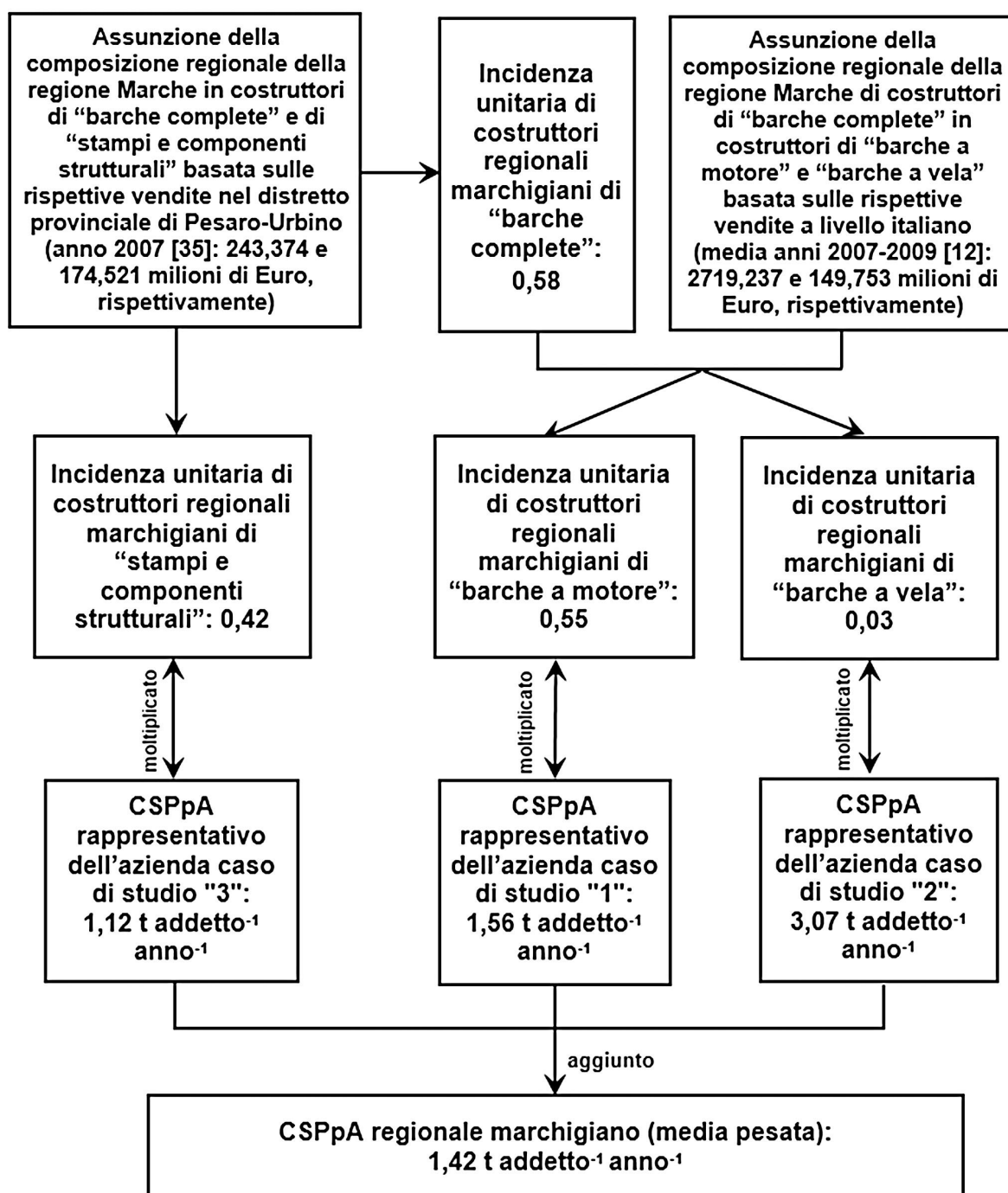


Figura 6 – Procedura applicata per la stima indiretta del coefficiente di produzione per unità di addetto (CSPpA) per l'intero settore regionale marchigiano della nautica diportistica basato su una media pesata dei valori rappresentativi di CSPpA derivati separatamente per le indicative aziende caso di studio.

In linea con il precedente confronto basato sui valori di CSPpA, entrambe le valutazioni effettuate mediante gli originali parametri CSPpS e CSPpP hanno confermato una maggiore produzione rappresentativa di rifiuti per l'azienda caso di studio "2", in comparazione con l'azienda caso di studio "1". In particolare, i rapporti azienda "2"/azienda "1" sulla base dei valori rappresentativi del CSPpS

e del CSPpP sono 5,8 (ovvero il risultato del rapporto 0,35/0,06) e 5,5 (ovvero il risultato del rapporto 2,71/0,49), rispettivamente, ovvero fattori molto simili con una risultante relativa differenza (ovvero $[(\text{rapporto}_{\max} - \text{rapporto}_{\min}) / \text{rapporto}_{\max}] * 100$) limitata al 5%. Questa similarità, ottenuta nelle rispettive proporzioni dei valori di coefficiente di produzione dei rifiuti delle due aziende, indica una

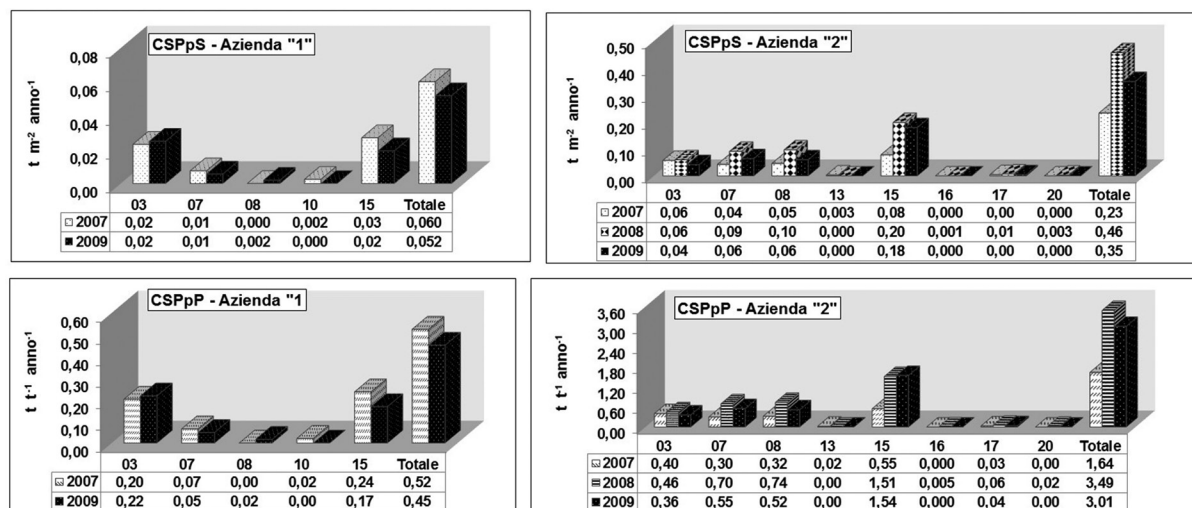


Figura 7 – Valori annuali risultanti del CSPpS (lato sinistro superiore, azienda caso di studio "1"; lato destro superiore, azienda caso di studio "2") e del CSPpP (lato sinistro inferiore, azienda caso di studio "1"; lato destro inferiore, azienda caso di studio "2"). Le categorie di rifiuto sugli assi orizzontali sono estensivamente esplicate nella Tabella 1.

certa attendibilità e riproducibilità circa l'uso delle caratteristiche fisiche intrinseche al prodotto manifatturiero finale (specificatamente, la superficie della barca e il peso) nella caratterizzazione parametrica dei rifiuti industriali attraverso i coefficienti di produzione unitari.

3.3 Proprietà intrinseche di particolari rifiuti della produzione di barche

I dati relativi alle proprietà chimico-fisiche degli scarti di materiali nautici selezionati sono riportati in Tabella 2. In termini di peso specifico, la schiuma PVC è caratterizzata da un valore molto basso, seguita dalla resina indurita ed infine da entrambi i materiali compositi, che hanno i più alti pesi specifici.

Dei campioni di composito rinforzato, lo scarto contenente fibra di vetro risulta possedere un peso specifico maggiore dello scarto in fibra di carbonio e ciò è riconducibile al fatto che la fibra di vetro ha un peso specifico intrinseco più alto di quello della fibra di carbonio (Eric Greene Associates, 1999). In generale, i pesi specifici caratteristici degli scarti dei materiali compositi e plastici possono essere utili ed essere sfruttati mediante apposite tecniche per differenziare e depurare flussi misti di raccolta (Halliwen, 2006; Santini et al., 2010), dato che la selezione differenziata è uno step fondamentale in ogni circuito potenziale di riciclaggio (Al-Salem et al., 2009). Per ciò che concerne il contenuto di umidità, i valori sperimentali dei rifiuti nauti-

ci caratterizzati ricadono nell'intervallo 0,6-2,0% (Tabella 2). In realtà, per le generiche categorie di rifiuto come plastica, gomma e vetro, che sono indicativamente riferibili agli scarti della produzione nautica sperimentalmente caratterizzati, testi di riferimento internazionali sulla gestione dei rifiuti solidi e relativi trattamenti termici riportano tipicamente un basso contenuto di umidità del 2% (Lagerkvist et al., 2010; Tchobanoglous et al., 1993; Niessen, 2002).

Diversamente, materiali rappresentativi di scarto sperimentalmente caratterizzati per altri significativi settori industriali radicati nella medesima area regionale marchigiana, ovvero arredamento e distretti calzaturieri del cuoio, mostrano contenuti di umidità modestamente più alti e compresi negli intervalli 5,0-19,2% e 0,5-13,3% per i rifiuti di legno composito e per quelli a base di cuoio, rispettivamente (Tatàno et al., 2009; Tatàno et al., 2012). Tipicamente, i legni compositi (o derivati) comprendono un insieme di materiali come fili di legno, particelle, fibre, o fogli sottili, processati insieme con l'uso di resine adesive (Tatàno et al., 2009).

Ad ogni modo, dietro la capacità intrinseca di assorbimento dell'acqua dei differenti materiali di scarto, bisognerebbe tenere a mente che il contenuto di umidità è una proprietà volatile, che può essere rapidamente influenzata dalle condizioni di raccolta, di stoccaggio e meteorologiche (Lagerkvist et al., 2010; Tchobanoglous et al., 1993; d'Antonio G, 1997; Tatàno et al., 2012). Quanto al contenuto

Tabella 2 – Proprietà chimico-fisiche intrinseche di particolari tipologie di rifiuti dal processo manifatturiero di un'imbarcazione. (Nota: ND = Non Disponibile).

Tipo di materiale	Peso specifico (g cm ⁻³)	Contenuto di umidità (% p/p)	Contenuto di ceneri su base secca (% p/p)	Contenuto di ceneri su base umida (% p/p)
Schiuma in PVC	0,062	1,8	5,38	5,28
Resina indurita	1,160	1,1	1,71	1,69
Scarto di composito in fibra di vetro	1,868	0,6	34,61	34,40
Scarto di composito in fibra di carbonio	1,596	0,9	30,98	30,70
Polvere di carteggiatura	ND	2,0	43,67	42,80

in ceneri, in particolare nella confrontabile forma su base secca, i due materiali compositi e la connessa polvere di carteggiatura (derivante dalle operazioni di levigatura e lucidatura delle componenti dell'imbarcazione) mostrano in Tabella 2 valori significativamente più alti in confronto alla schiuma plastica e alla resina indurita. Il considerevole contenuto di ceneri dei materiali compositi in fibra di vetro o di carbonio è attribuibile alle fibre incombuste ed anche ai riempitivi minerali che possono essere aggiunti alla resina in fase di realizzazione dell'imbarcazione (Cunliffe et al., 2003; Cunliffe and Williams, 2004; Yang et al., 2012; Pimenta and Pinho, 2011; Pickering, 2006). Peraltro, i materiali compositi in fibra di carbonio non contengono riempitivi bensì, solo fibre e resina (Halliwen, 2006). Questa circostanza potrebbe contribuire a spiegare il più basso contenuto in ceneri risultante in Tabella 2 per il residuo composito in fibra di carbonio in confronto allo scarto in fibra di vetro.

I contenuti di energia determinati per i rifiuti nautici selezionati (Tabella 3) sono considerevoli. Nello specifico, essi variano da 14846 a 34176 kJ kg⁻¹ per il PCS, e da 14144 a 32479 kJ kg⁻¹ per il PCI. Il più alto valore di 34176 kJ kg⁻¹ (PCS) per la resina indurita è vicino al valore tipico di 30000 kJ kg⁻¹ riportato da Pickering e Benson (1991) e Pickering (2006) per le comuni tipologie di resine termoidurenti (ovvero resine poliestere, vinilestere, fenoliche, ed epossidiche).

Al contrario, i valori sperimentali di PCI per i selezionati residui in fibra di vetro e fibra di carbonio e la connessa polvere di carteggiatura che risultano compresi nell'intervallo 14144-19555 kJ kg⁻¹ (Tabella 3), collimano con l'indicazione da letteratura dell'intervallo 10000-20000 kJ kg⁻¹ (PCI), rappresentativo per i generici polimeri termoidurenti (Leszczyński and Brzywczyk, 2007).

Si noti come i valori sperimentali in Tabella 3 mostrino per i due campioni compositi (sia in fibra di

vetro che fibra di carbonio) dei contenuti di energia significativamente inferiori in confronto alla resina indurita.

Questa condizione comparativa è attribuibile al fatto che i valori di potere calorifico dei materiali plastici fibrorinforzati sono limitati dal contenuto proporzionale delle fibre e dei riempitivi inerti che non bruciano, diluendo dunque il calore generato unicamente dal contenuto di resina combustibile (Halliwen, 2006; Pickering, 2006; Pickering and Benson, 1991; Otheguy et al., 2009). Ognuno dei PCI sperimentalmente determinati in Tabella 3 è ben al di sopra dei valori di 12000 e 10307 kJ kg⁻¹, che rappresentano i valori medi di PCI per i rifiuti solidi urbani trattati nei termoutilizzatori italiani (53 impianti, anno operativo 2010) (Federambiente-ENEA, 2012) e nei 314 termoutilizzatori europei (periodo operativo 2007-2010) (Reimann, 2012), rispettivamente.

In realtà, il potenziale dei rifiuti nautici caratterizzati di essere utilizzati per il recupero energetico è confermato in Figura 8 dal collocamento sperimentale dei rispettivi dati di caratterizzazione nel diagramma ternario di Tanner (Hulgaard and Vehlou, 2010; Reimann and Hämmerli, 1995), utilizzabile per valutare la fattibilità di combustione di un dato rifiuto. La Figura 8 mostra che tutti i punti identificativi dei rifiuti nautici selezionati cadono nell'area ombreggiata del diagramma, indicando le condizioni per un processo di combustione autosostenuto senza combustibile ausiliario. In particolare, i punti sperimentali sono approssimativamente distribuiti lungo un segmento orizzontale vicino al bordo inferiore della summenzionata area ombreggiata, ad indicare la condizione complessiva di contenuti di umidità particolarmente bassi connessi a contenuti in ceneri variabili all'interno della metà iniziale (ovvero sotto il 50%) dell'asse delle ceneri; come risultato, i conseguenti contenuti di materiale combustibile mostrano un intervallo

Tabella 3 – Contenuti di energia di particolari tipologie di rifiuti dal processo manifatturiero di un'imbarcazione
(Nota: PCS = Potere Calorifico Superiore; PCI = Potere Calorifico Inferiore).

Tipologia di rifiuto	Schiuma in PVC	Resina Indurita	Scarto di composito in fibra di vetro	Scarto di composito in fibra di carbonio	Polvere di carteggiatura
PCS (kJ kg ⁻¹)	23,725	34,176	14,846	20,281	15,845
PCI (kJ kg ⁻¹)	22,589	32,479	14,144	19,555	14,927

significativamente collocato nella seconda metà (ovvero sopra il 50%) del correlato asse del combustibile.

Le considerazioni appena esposte suggeriscono che le tipologie di rifiuti plastici provenienti dal settore manifatturiero della nautica diportistica offrono la potenzialità del recupero energetico ad una data scala territoriale in combinazione, se necessario, con altri scarti combustibili industriali eventualmente disponibili, come ad esempio, i rifiuti in legno del settore arredamento (Tatàno et al., 2009) e i rifiuti del settore calzaturiero (Tatàno et al., 2012), riferendosi alla particolare area regionale marchigiana considerata in questo studio.

L'opzione del recupero di energia potrebbe anche avere un valore regolativo poiché i rifiuti nautici caratterizzati nel presente studio presentano in Tabella 3 PCI sperimentali più alti del valore limite di 13000 kJ kg⁻¹ (Fiore et al., 2012), sopra il quale i rifiuti non sono ufficialmente accettabili in nessuna categoria di discarica in accordo con il Decreto Legislativo italiano No. 36/2003 attuativo della Direttiva Europea relativa alle discariche. Inoltre, i singoli PCI sperimentalmente determinati per i rifiuti nautici caratterizzati sono considerevoli in confronto con la classificazione ufficiale CEN (Comitato Europeo di Normazione) in classi di valore calorifico netto o PCI (CEN, 2011), assunto come parametro economico fondamentale per lo sviluppo di una potenziale strategia di combustibile derivato da rifiuto (CDR) (Rada and Andreotola, 2012; Ragazzi and Rada, 2012).

Con l'esclusione del materiale di rifiuto in schiuma basato sul PVC, che potrebbe generare potenziali problematiche tecniche ed ambientali di combustione, riconducibili alla presenza del cloro e riguardanti il possibile effetto corrosivo in sistema caldaia di recupero termico, l'emissione di gas acidi, ed il possibile concorso all'emissione di diossine/furani (Ragazzi e Brunetti, 2011), limitando pertanto la commerciabilità del CDR (Rotter, 2010), i rifiuti nautici caratterizzati appaiono valutabili anche in indicativo confronto con l'ulteriore classificazione CEN in classi del contenuto di cloro (CEN, 2011) quale parametro tecnico ad-

dizionale di cui tener conto per una strategia CDR, visti i contenuti in cloro limitati (w/w, su base secca) risultanti dalle analisi elementari condotte (0,01% per il residuo composito in fibra di carbonio, 0,02% per il residuo composito in fibra di vetro, 0,07% per la polvere di carteggiatura, e 0,38% per la resina indurita).

In realtà, per quanto riguarda la schiuma in PVC, andrebbe appropriatamente osservato che materiali riempitivi alternativi basati su componenti chimiche diverse dal PVC sono stati sviluppati per l'utilizzo nell'industria nautica (Gundberg, 2004). In particolare, facendo riferimento alla categoria dei rifiuti compositi fibrorinforzati, in aggiunta all'opzione di un convenzionale processo d'incenerimento con recupero energetico (generazione di calore e/o elettricità) e possibile utilizzo delle scorie prodotte nelle costruzioni civili (Yang et al., 2012; Halliwen, 2006; Hedlund-Åström, 2005; Gramann et al., 2008; Arm et al., 2010), un'opzione più appropriata di recupero combinato di materia e energia potrebbe consistere nello sviluppo e implementazione di tecnologie investigate, considerando un processo termico più controllato mediante sistema a letto fluidizzato o pirolisi (Yang et al., 2012; Pimenta and Pinho, 2011; Pickering, 2006; Cornacchia et al., 2011). Queste tecnologie mirano a combinare il recupero di energia/combustibile, generato attraverso la decomposizione termica delle componenti polimeriche, con il prezioso recupero delle fibre residuali di vetro o di carbonio, sebbene una certa degradazione temperatura-dipendente delle proprietà meccaniche sia attesa (in particolare per le fibre di vetro) in confronto alle fibre vergini.

4. CONCLUSIONI

Per le attività produttive industriali, la disponibilità di informazioni dettagliate circa i rifiuti generabili appare strategica a due possibili livelli: 1) a scala locale delle singole strutture per una implementazione affidabile dei concetti di produzione e tecnologie più pulite e/o per il perseguimento effettivo delle normative ambientali, dato che entrambi gli aspetti normalmente coinvolgono argomenti

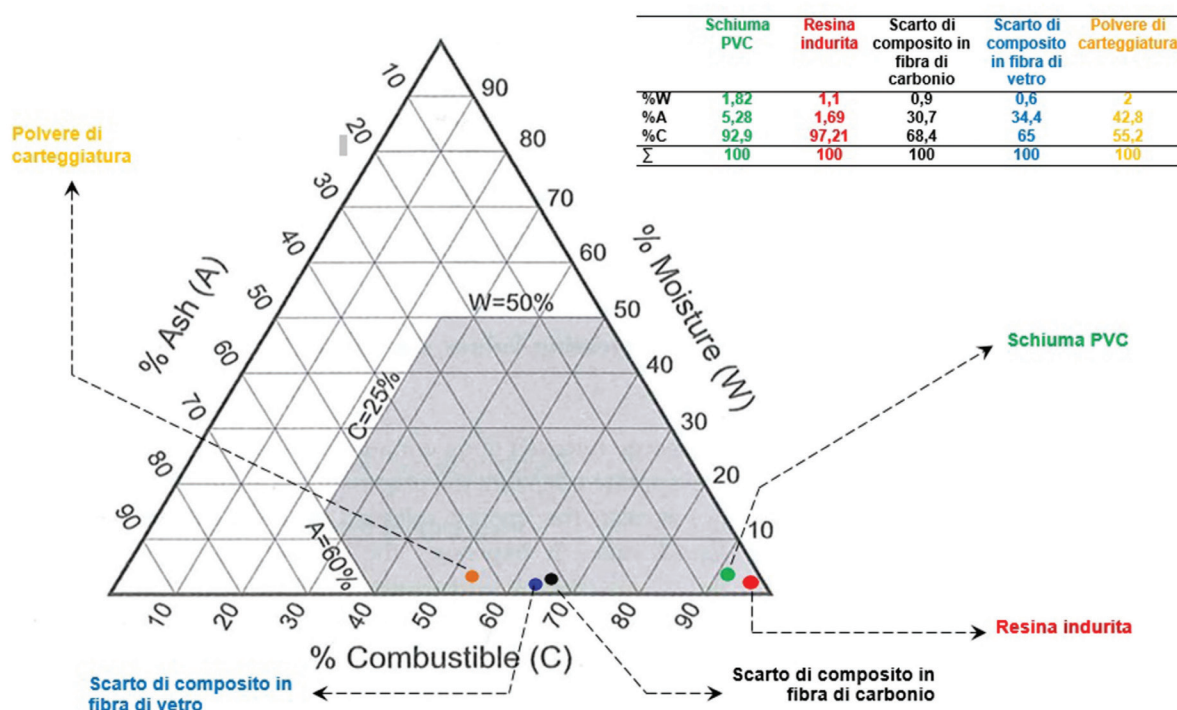


Figura 8 – Collocazione sperimentale dei rifiuti nautici caratterizzati all'interno del diagramma ternario di Tanner (Otheguy et al., 2009; Federambiente-ENEA, 2012).

rifiuto-correlati; e 2) ad una data scala territoriale (provinciale, regionale, o anche nazionale) per la pianificazione attendibile e la conseguenziale implementazione di una strategia di gestione sostenibile dei diversificati flussi di rifiuti industriali generati, auspicabilmente attraverso un approccio sinergico con il flusso principale di rifiuti solidi urbani nello stesso territorio. Comunque, mentre la caratterizzazione dei rifiuti solidi municipali e dei relativi rifiuti commerciali e istituzionali sia stato estesamente studiato, dati sulle caratteristiche dei rifiuti non sono ancora disponibili in dettaglio per tutti i diversificati settori industriali.

Come contributo a migliorare la complessiva informazione tecnico-scientifica sui rifiuti industriali, e con attenzione alla particolare struttura industriale della Regione Marche (Italia), questo studio è stato condotto per caratterizzare la generazione quantitativa e qualitativa dei rifiuti ed alcune proprietà chimico-fisiche del settore nautico diportistico. La caratterizzazione dei rifiuti per questo particolare settore manifatturiero sembra importante per le seguenti ragioni: 1) le barche sportive sono prodotte in tutto il mondo, e tutti i paesi che realizzano barche sono geograficamente collocate in diversi continenti (Nord America, Europa, Oceania, Asia, Sud America, e Africa) (UCINA, 2009; UCINA, 2010); 2) le informazioni quantitative, qualitative, e chimico-fisiche sui rifiuti generabili potrebbero esse-

re utili ai costruttori di barca al fine di discernere tra fonti di rifiuto evitabili e fonti inevitabili con la conseguenziale pianificazione e implementazione di opzioni attendibili per la prevenzione dei rifiuti nel processo manifatturiero delle imbarcazioni sportive; e 3) l'industria del settore nautico diportistico condivide la sfida tecnico-scientifica di gestire appropriatamente i peculiari rifiuti di composito fibrorinforzato con altri rilevanti settori industriali ed attività (brevemente menzionate nella Sezione 1) che fanno uso strategico di materiali compositi, inclusa anche la crescente attenzione nello stesso settore marino dello sviluppo di strutture composite per imbarcazioni navali (Mouritz et al., 2001). Assumendo una valutazione parametrica basata sul numero di addetti, la caratterizzazione quantitativa della generazione di rifiuti ha fornito un rappresentativo coefficiente di produzione unitario di 1,47 t addetto⁻¹ anno⁻¹ per un distretto territoriale della nautica diportistica quale quello dell'intera area regionale marchigiana.

Una chiara distinzione si è verificata quando la stessa valutazione parametrica è stata separatamente condotta per le aziende caso di studio considerate in questo lavoro. Precisamente, un più basso valore rappresentativo di 1,12 t addetto⁻¹ anno⁻¹ è stato trovato per un tipico costruttore di soli stampi e componenti strutturali (come per l'azienda caso di studio "3"), un valore rappresentativo interme-

dio di $1,56 \text{ t addetto}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ per un tipico profilo di costruttore di barche a motore in serie in fibra di vetro (come per l'azienda caso di studio "1"), ed un valore rappresentativo significativamente più alto di $3,07 \text{ t addetto}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ per un particolare profilo di costruttore che produce barche a vela altamente performanti in fibra di carbonio su richiesta del cliente (come per l'azienda caso di studio "2"). La proposta e l'elaborazione di due concetti originali di coefficiente specifico di produzione dei rifiuti riferito alle caratteristiche fisiche del prodotto studiato (ovvero l'area di superficie della barca e il dislocamento dell'imbarcazione) hanno confermato la condizione di più alta generazione di rifiuti da parte dell'azienda caso di studio "2", realizzatrice di barche a vela (valore rappresentativo di $0,35 \text{ t m}_{\text{barca}}^{-2} \text{ anno}^{-1}$ e $2,71 \text{ t t}_{\text{barca}}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, rispettivamente), in confronto all'azienda caso di studio "1", costruttrice di barche a motore (valore rappresentativo di $0,06 \text{ t m}_{\text{barca}}^{-2} \text{ anno}^{-1}$ e $0,49 \text{ t t}_{\text{barca}}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, rispettivamente). Nello specifico, il rapporto tra i valori rappresentativi delle due aziende è quasi identico per il coefficiente specifico di produzione per unità di superficie di barca e per unità di peso di barca, suggerendo una certa attendibilità e riproducibilità dell'uso delle proprietà fisiche pertinenti al prodotto finale realizzato nella caratterizzazione parametrica della correlata produzione di rifiuti industriali. In maniera interessante, la disaggregazione dei coefficienti specifici di produzione in gruppi di rifiuti ha mostrato come i rifiuti plastici, che sono intrinsecamente connessi al processo manifatturiero della barca da diporto e non limitati unicamente ai residui in composito fibrorinforzato, abbiano una rilevanza quantitativa non trascurabile nei termini della categoria di rifiuto prevalentemente associabile '07' in confronto con tutte le categorie di rifiuto rilevate secondo la lista ufficiale europea dei rifiuti.

In questo contesto, la caratterizzazione delle proprietà chimico-fisiche intrinseche dei materiali di scarto selezionati rappresentativi della costruzione delle imbarcazioni e tutti assimilabili all'interno di una categoria comprensiva di rifiuti plastici, ha rivelato i seguenti aspetti: 1) la variazione nel peso specifico è collegata alle diversificate caratteristiche strutturali e/o di miscela dei residui considerati; 2) il contenuto di umidità è costantemente basso; 3) i residui in composito fibrorinforzato e la connessa polvere di carteggiatura presentano alti contenuti in cenere; e 4) i contenuti di energia mostrano un intervallo di valori significativi, suggerendo come alcuni rifiuti a base di plastica del settore diportistico possano costituire un'opportunità di recupero di energia, che, in particolare per i

rifiuti in composito fibrorinforzato, potrebbe essere combinata con la prospettiva tecnica del prezioso recupero di fibre mediante processi termici avanzati che sono in progressivo stato di sviluppo e implementazione.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Al-Salem SM, Lettieri P and Baeyens J (2009) Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): a review. *Waste Management* 29(10):2625-2643.
- ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) (2002a) Rifiuti industriali. Metodologie di calcolo dei coefficienti di produzione. Roma: Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi. Rapporto no. 18/02.
- ANPA (2002b) I rifiuti del comparto automobilistico. Studio di settore. Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi, in collaborazione con ONR (Osservatorio Nazionale sui Rifiuti). Roma, Rapporto no. 16/2002.
- Arm M, Eighmy TT and Christensen TH (2010) Incineration: utilization of residue in construction. In: Christensen TH, editor. *Solid waste technology & management*. Volume 1. Chichester: Wiley, 463-475.
- CEN (European Committee for Standardization) (2011) Solid recovered fuels - specifications and classes. European Standard EN 15359, Technical Committee CEN/TC 343 "Solid recovered fuels". Brussel.
- Christensen TH (2010) Industrial waste. In: Christensen TH, editor. *Solid waste technology & management*. Volume 1. Chichester: Wiley, 100-103.
- Christensen TH and Andersen L (2010) Construction and demolition waste. In: Christensen TH, editor. *Solid waste technology & management*. Volume 1. Chichester: Wiley, 104-109.
- Ciconetti E (1990) *Analisi tecniche ed elettrochimiche*. 4th ed. Florence: Sansoni Publisher.
- Cocca P, Rossi D and Tomasoni G (2008) Waste management and environmental management systems: a survey of an Italian manufacturing context. In: Gidarakos E, Cossu R, Stegmann R, editors. *Chania 2008, first international conference on hazardous waste management*. Proceedings 2008, October 1-3, Greece: Technical University of Crete, 481-482.
- Commissione delle Comunità Europee (2000). Decisione della Commissione, del 3 maggio 2000, che sostituisce la decisione 94/3/CE che istituisce un elenco di rifiuti conformemente all'articolo 1, lettera a), della direttiva 75/442/CEE del Consiglio relativa ai rifiuti e la decisione 94/904/CE del Consiglio che istituisce un elenco di rifiuti pericolosi ai sensi dell'Articolo 1(4), della direttiva 91/689/CEE del Consiglio relativa ai rifiuti pericolosi (2000/532/CE).
- Cornacchia G, Matera D, Iovane P et al. (2011) Il riciclo dei materiali compositi contenenti fibre di carbonio: sviluppi tecnologia di produzione e caratteristiche meccaniche dei

- materiali. In: Morselli L, editore. Ecomondo 2011, Fiera internazionale del Recupero di Materia ed Energia e dello Sviluppo Sostenibile. Atti dei seminari. Novembre 9-12, Rimini: Maggioli Editore, 749-755 (in Italiano).
- Cunliffe AM and Williams PT (2004) Pyrolysis of flame retardant brominated polyester composites. *Environmental Technology* 25(12):1349-1356.
- Cunliffe AM, Jones N and Williams PT (2003) Pyrolysis of composite plastic waste. *Environmental Technology* 24(5):653-663.
- d'Antonio G (1997) *Trattamento dei rifiuti solidi urbani*. Rimini: Maggioli Publisher.
- Decreto legislativo 13 gennaio 2003, n. 36 attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti. Supplemento ordinario della Gazzetta Ufficiale Italiana No. 59, 12.03.2003 (in Italiano).
- Direttiva 1999/31/CE del Consiglio, del 26 aprile 1999, relativa alle discariche di rifiuti, Gazzetta ufficiale delle Comunità europee, 16.07.1999, L182/1-19.
- Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 novembre 2008, relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, 22.11.2008, L312/3-30.
- Direttiva 2010/75/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 novembre 2010, relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento), Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, 17.12.2010, L334/17-119.
- Doucette J and Deveau A (2004) *A survey of waste management practices in the fiberglass boatbuilding industry*. Nova Scotia: Department of Environment and Labor, Youth Conservation Corps.
- Eric Greene Associates (1999) *Marine composites*. 2nd ed. Annapolis (MD) Eric Greene Associates, Inc. Publisher.
- European Union (2010). *Being wise with waste: the EU's approach to waste management*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Federambiente-ENEA (2012) *Rapporto sul recupero energetico da rifiuti urbani in Italia*. 3a ed. Associazione Italiana Servizi Pubblici Igiene Ambientale in collaborazione con Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile. Roma.
- Fiore S, Ruffino B, Zanetti MC et al. (2012) Gestione dei veicoli a fine vita: la situazione italiana. In: Morselli L, editore. Ecomondo 2012, 16a Fiera internazionale del Recupero di Materia ed Energia e dello Sviluppo Sostenibile. Atti dei seminari. Novembre 7-10. Rimini: Maggioli Editore, 371-376 (in Italiano).
- Fortezza F (2009) *Nautica da diporto: reti produttivi, risorse umane e sfide strategiche - il comparto nella Provincia di Pesaro-Urbino*. Milano: Collana di Economia e Politiche Industriali, Franco Angeli Editore.
- Fresner J (1998) Cleaner production as a means for effective environmental management. *Journal of Cleaner Production* 6(3): 171-179.
- Gramann H, Krapp R and Bertram V (2008) Disposal and recycling of HSC materials. In HIPER '08, 6th international conference on high-performance marine vehicles. Proceedings; 2008 September 18-19; Naples: Faculty of Engineering, University of Naples "Federico II", 271-280.
- Gundberg T (2004) *Foam core materials in the marine industry* [Technical bulletin]. Revision 4; DIAB Inc. [cited 2013 Jan 15]. Available from: <http://boatdesign.net/articles/foam-core/>
- Halliwen S (2006) *End of life options for composite waste: recycle, reuse or dispose?* Cambridge (UK): Best Practice Guide, National Composites Network, TWI Ltd.
- Hedlund-Åström A (2005) *Model for end of life treatment of polymer composite materials* [doctoral thesis]. Stockholm: Department of Machine Design, The Royal Institute of Technology.
- Hulgaard T and Vehlow J (2010) *Incineration: process and technology*. In: Christensen TH, editor. *Solid waste technology & management*. Volume 1. Chichester: Wiley, 365-392.
- ISTAT (Istituto Italiano di Statistica) (2012) *Compendio Statistico Italiano 2011*. Roma.
- Kanagaraj J, Velappan KC, Chandra Babu NK et al. (2006) Solid wastes generation in the leather industry and its utilization for cleaner environment - a review. *Journal of Scientific & Industrial Research* 65:541-548.
- Lagerkvist A, Ecke H and Christensen TH (2010) *Waste characterization: approaches and methods*. In: Christensen TH, editor. *Solid waste technology & management*. Volume 1. Chichester: Wiley; 63-84.
- Leszczyński S and Brzychczyk B (2007) Waste management of half-finished products and thermosetting wastes. *Polish Journal of Chemical Technology* 9(3):122-126.
- Marshall R (2010) *Fiberglass boat repairs illustrated*. Blacklick (OH): McGraw-Hill Professional.
- Mouritz AP, Gellert E, Burchill P et al. (2001) Review of advanced composite structures for naval ships and submarines. *Composite Structures* 53(1):21-41.
- Niessen WR (2002) *Combustion and incineration processes* (2002) 3rd ed. New York: Marcel Dekker.
- Otheguy ME, Gibson AG, Findon E et al. (2009) Recycling of end-of-life thermoplastic composite boats. *Plastic Rubber and Composites* 38(9-10):406-411.
- Parker SP, editor (2003) *McGraw-Hill dictionary of scientific and technical terms*. 6th ed. New York (NY): The McGraw-Hill Companies.
- Pickering SJ (2006) Recycling technologies for thermoset composite materials - current status. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 37(8):1206-1215.
- Pickering SJ and Benson M (1991) The recycling of thermosetting plastics. In *Proceedings of the second international conference on plastics recycling*; Mar 13-14; London: Plastics and Rubber Institute 23/1-10.
- Pimenta S and Pinho ST (2011) Recycling carbon fiber reinforced polymers for structural applications: technology review and market outlook. *Waste Management* 31(2):378-392.
- Rada EC and Andreottola G (2012) RDF/SRF: which perspective for its future in the EU. *Waste Management* 32(6):1059-1060.

- Ragazzi M e Brunetti F (2011) Termovalorizzazione. In "Sezione G. Ingegneria Ambientale", Manuale dell'Ingegnere Civile ed Ambientale (a cura di Pierluigi A. Riva, Andrea Guadagni), Milano: Editore Ulrico Hoepli, G-281/G-316.
- Ragazzi M and Rada EC (2012) RDF/SRF evolution and MSW biodrying. In: Popov V, Itoh H, Brebbia CA, editors. Waste management and the environment VI. Southampton: WIT Press, 199-208.
- Reimann DO (2012) CEWEP Energy Report III (status 2007-2010): results of specific data for energy, R1 plant efficiency factor and net calorific value (NCV) of 314 European waste to energy (WtE) plants. Brussels: Confederation of European Waste-to-Energy Plants. Available from: <http://www.cewep.eu/>
- Reimann DO and Hämmerli H (1995) *Verbrennungstechnik für Abfälle in Theorie und Praxis*. Bamberg: Schriftenreihe Umweltschutz.
- Rotter S (2010) Incineration: RDF and SRF - solid fuels from waste. In: Christensen TH, editor. Solid waste technology & management. Volume 1. Chichester: Wiley, 486-501.
- Salhofer S (2000) Modelling commercial/industrial waste generation: a Vienna, Austria case study. *Waste Management & Research* 18(3): 269-282.
- Salhofer S, Unger N and Bilitewski B (2010) Waste prevention and minimization: concepts, strategies and means. In: Christensen TH, editor. Solid waste technology & management. Volume 1. Chichester: Wiley, 183-192.
- Santini A, Ciacci L, Passarini F et al. (2010). Tecniche di separazione delle plastiche per il recupero di materia. In: Morselli L, editore. *Ecomondo 2010, 14a Fiera internazionale del Recupero di Materia ed Energia e dello Sviluppo Sostenibile*. Atti dei seminari. Novembre 3-6. Rimini: Maggioli Publisher, 1134-1141.
- Schramm W (1997) New findings on the generation of waste and emissions, and a modified cleaner production assessment approach illustrated by leather production. *Journal of Cleaner Production* 5(4): 291-300.
- Tatàno F, Acerbi N, Monterubbiano C et al. (2012) Shoe manufacturing wastes: characterization of properties and recovery options. *Resources, Conservation and Recycling* 66:66-75.
- Tatàno F, Barbadoro L, Mangani G et al. (2009) Furniture wood wastes: experimental property characterization and burning tests. *Waste Management* 29(10):2656-2665.
- Tchobanoglous G, Theisen H and Vigil S (1993) *Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*. New York: McGraw-Hill.
- Tupper EC (2004) *Introduction to naval architecture*. 4th ed. Oxford (UK): Elsevier Butterworth Heinemann.
- UCINA (Confindustria Nautica) (2008) *Nautica in cifre - Analisi del mercato per l'anno 2007*. Realizzato in collaborazione con la sezione di Geografia Economica ed Economia dei Trasporti del Dipartimento di Economia e Metodi Quantitativi dell'Università di Genova. Genova.
- UCINA (2009) *Nautica in cifre - Analisi del mercato per l'anno 2008*. Realizzato in collaborazione con la sezione di Geografia Economica ed Economia dei Trasporti del Dipartimento di Economia e Metodi Quantitativi dell'Università di Genova. Genova.
- UCINA (2010) *Nautica in cifre - Analisi del mercato per l'anno 2009*. Realizzato in collaborazione con la sezione di Geografia Economica ed Economia dei Trasporti del Dipartimento di Economia e Metodi Quantitativi dell'Università di Genova. Genova.
- Waitakere City Council (2004) *A survey of the environmental, health and safety practices of members of the boat building working group*. Waitakere City: Cleaner Production Boat Building Project.
- Yang Y, Boom R, Irion B et al. (2012) Recycling of composite materials. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 51:53-68.
- Yaw F, Jr (2005) Cleaner technologies for sustainable tourism: Caribbean case studies. *Journal of Cleaner Production* 13(2): 117-134.

RINGRAZIAMENTI

Questo studio è stato cofinanziato dalla Regione Marche, Italia, all'interno del progetto "GeRISNaM, Gestione dei Rifiuti Integrata e Sostenibile per il Settore Nautico Marchigiano" (coordinatore scientifico F. Tatàno) sotto specifica delibera "DDS No. 40/S11, 17/06/2009, Distretto del Mare", e attraverso fondi personali. Si ringraziano il Prof. F. Mangani e l'Ing. E. Businaro per la cooperazione all'interno del team logistico dei progetti regionali "GeRISNaM", e "IMoMACNa, Indagine e Monitoraggio per il Miglioramento Ambientale della Cantieristica Nautica". Gli autori ringraziano: Ing. M. Beccaria, il Sig. E. Sora e la Dott.ssa L. Curina per la fornitura dei dati informativi sulle aziende caso di studio; il Dott. M. Boccarossa (ARPA Marche) per la fornitura dei dati MUD correlati al settore nautico diportistico regionale marchigiano; e il Dott. S. Scatassa (Camera di Commercio PU), la Sig.ra A. Ria (INPS PU), il Dott. M. Gardini (INPS AN), il Dott. A. Taruschio (INPS MC), e il Dott. P. Marini (INPS AP) per la fornitura dei dati statistici sui siti produttivi e sugli addetti.

Materiale supplementare è disponibile gratuitamente all'indirizzo www.ingegneriadellambiente.org.