



Approcci e strumenti per la selezione del materiale nel percorso progettuale di un manufatto: il caso della barca "Pelèr"

Stefano Pandini
Gruppo di Scienza e Tecnologia dei Materiali
Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale
Università degli Studi di Brescia

$$[\text{Materiali}] \times [\text{Proprietà}] = \text{Informazioni}$$



[Materiali] x [Proprietà] = (TROPPE?) Informazioni

- *Spinta del mercato*
- *Requisiti di progetto*



- *Specifiche di prodotto*
- *“IL MATERIALE PIU’ ADATTO”*



Quale materiale? Non una scelta semplice...

- *Spinta del mercato*
- *Requisiti di progetto*



“Non è stata una scelta semplice...
Abbiamo lanciato in aria un sacco di monetine.”

- *Specifiche di prodotto*
- **“IL MATERIALE PIU’ ADATTO”**



Quale materiale? Non una scelta semplice...

- **Spinta del mercato**
- **Requisiti di progetto**



“Tutta quella città... non si riusciva a vederne la fine...[...] Tu pensa a un pianoforte. I tasti iniziano. I tasti finiscono. Tu lo sai che sono 88 e su questo nessuno può fregarti. Non sono infiniti, loro. Tu sei infinito, e dentro quegli 88 tasti la musica che puoi fare è infinita. Questo a me piace. In questo posso vivere. Ma se io salgo su quella scaletta, e davanti a me si srotola una tastiera di milioni di tasti, milioni e miliardi di tasti, che non finiscono mai, e questa è la verità, che non finiscono mai... Quella tastiera è infinita. Ma se quella tastiera è infinita allora su quella tastiera non c'è musica che puoi suonare. E sei seduto sul seggiolino sbagliato: quello è il pianoforte su cui suona Dio.



“La leggenda del pianista sull'oceano” - G. Tornatore



- **Specifiche di prodotto**
- **“IL MATERIALE PIU' ADATTO”**

Quale materiale? Non una scelta semplice...

- *Spinta del mercato*
- *Requisiti di progetto*

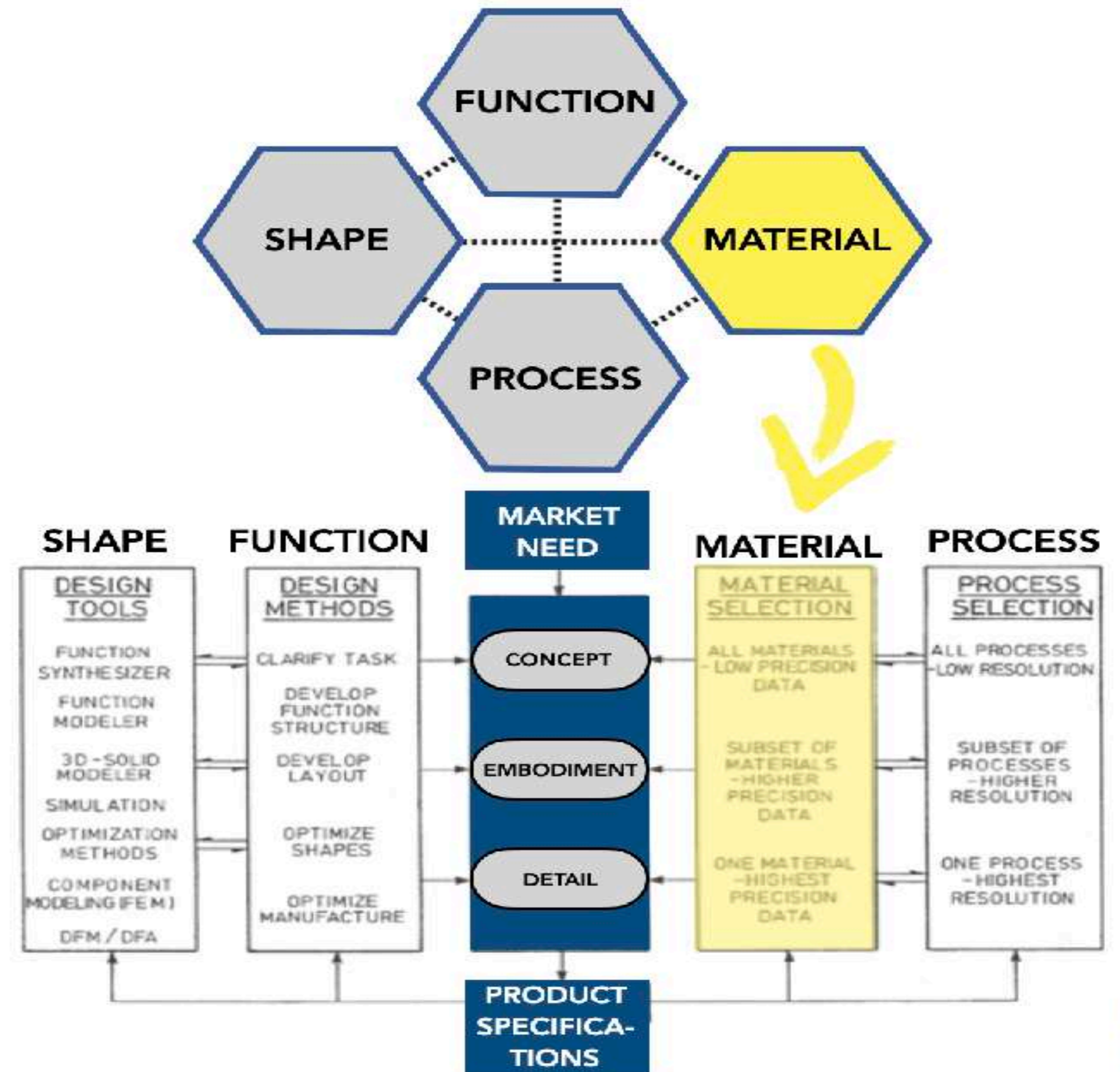
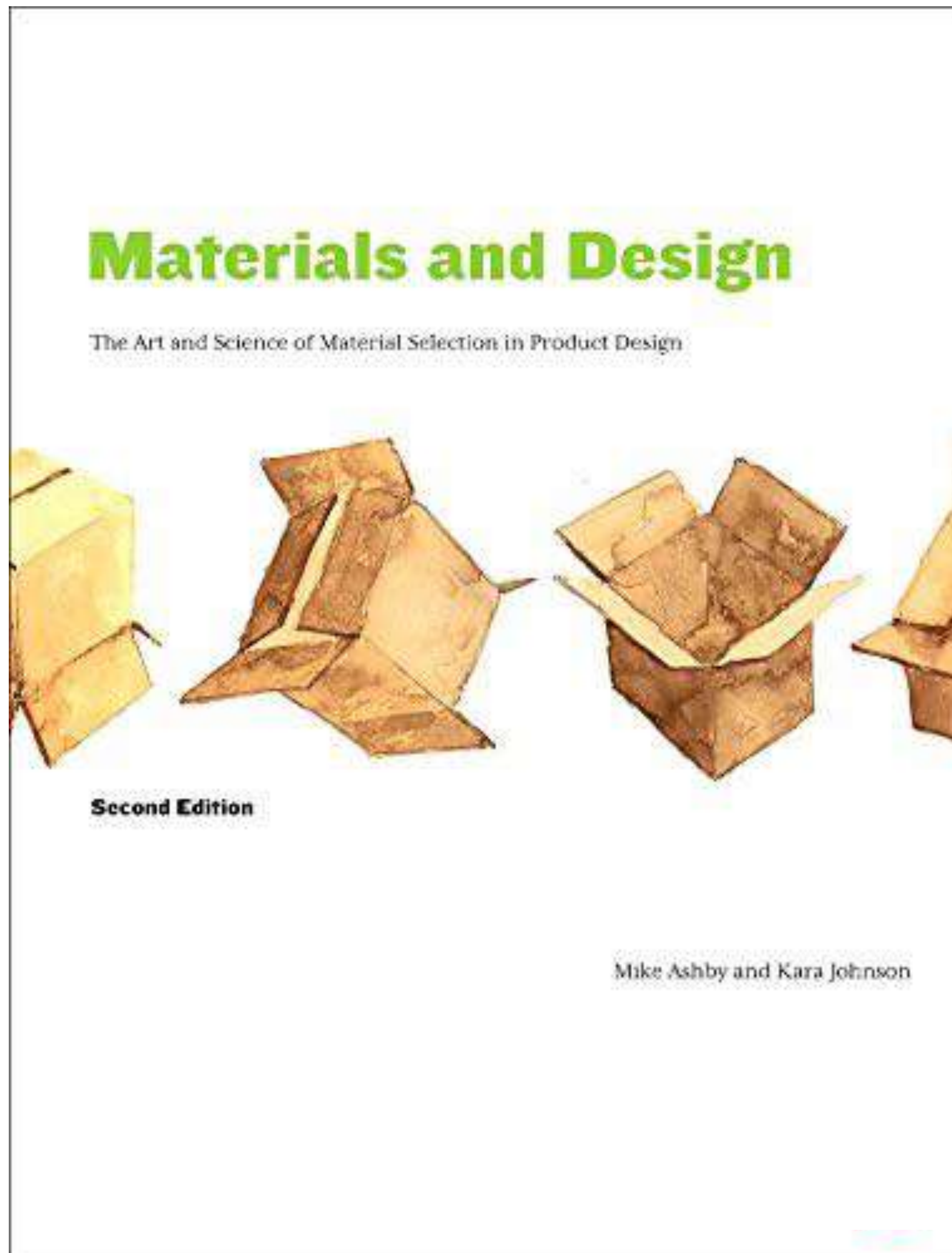


- *Specifiche di prodotto*
- *“IL MATERIALE PIU’ ADATTO”*



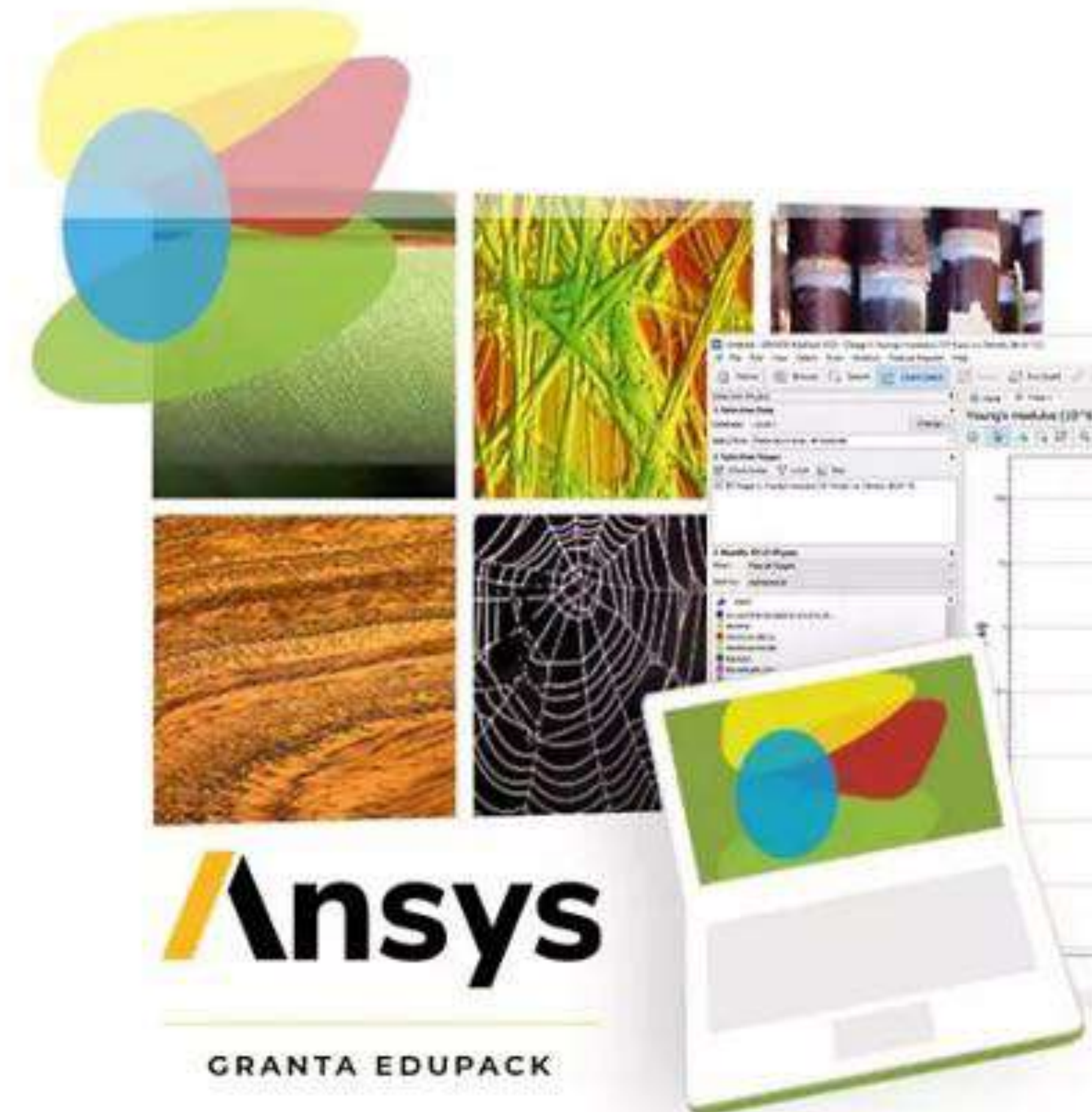
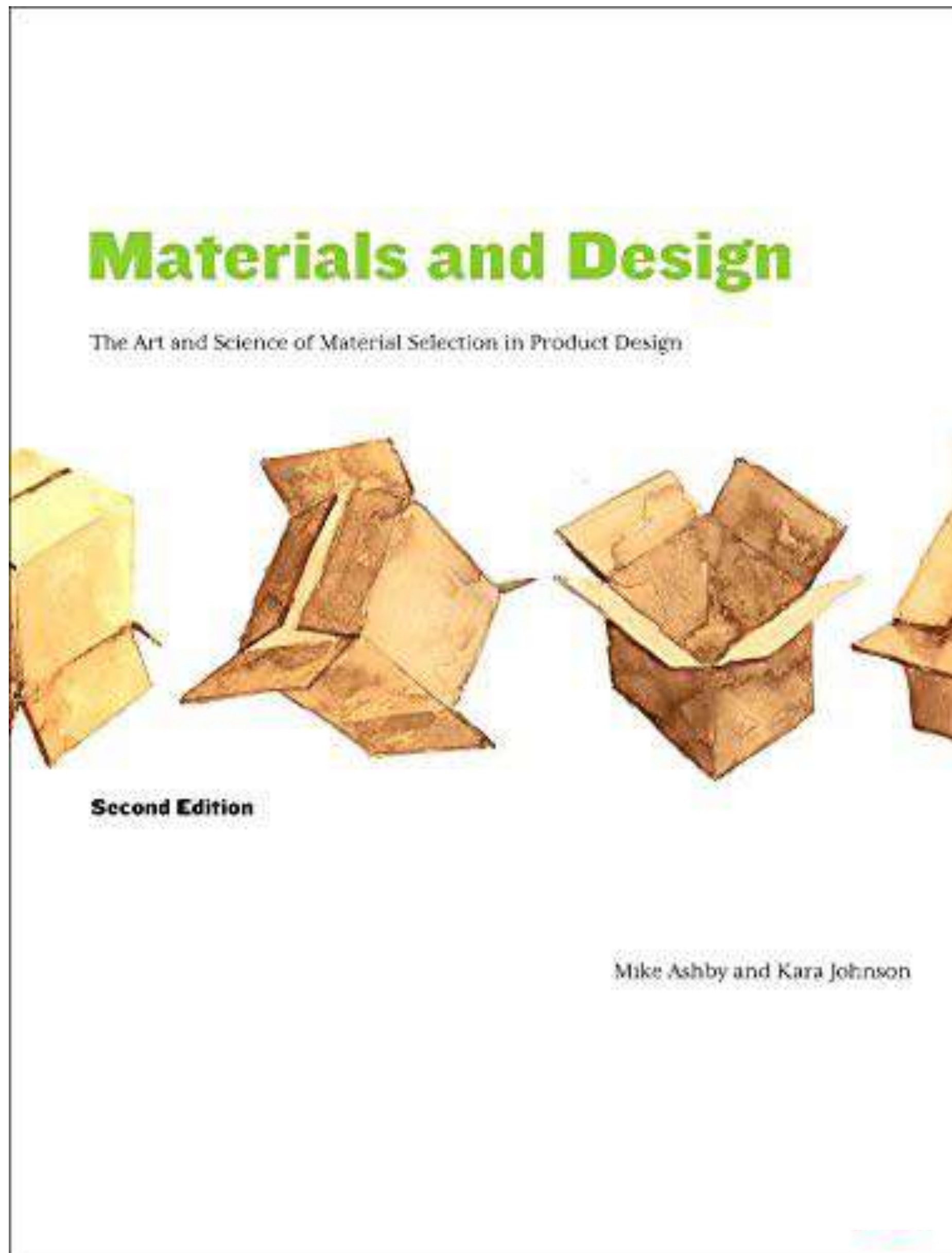
Quale materiale? Una scelta resa più semplice

Un approccio integrato dove “MATERIALE” e “PROPRIETA” hanno un ambiente dedicato...



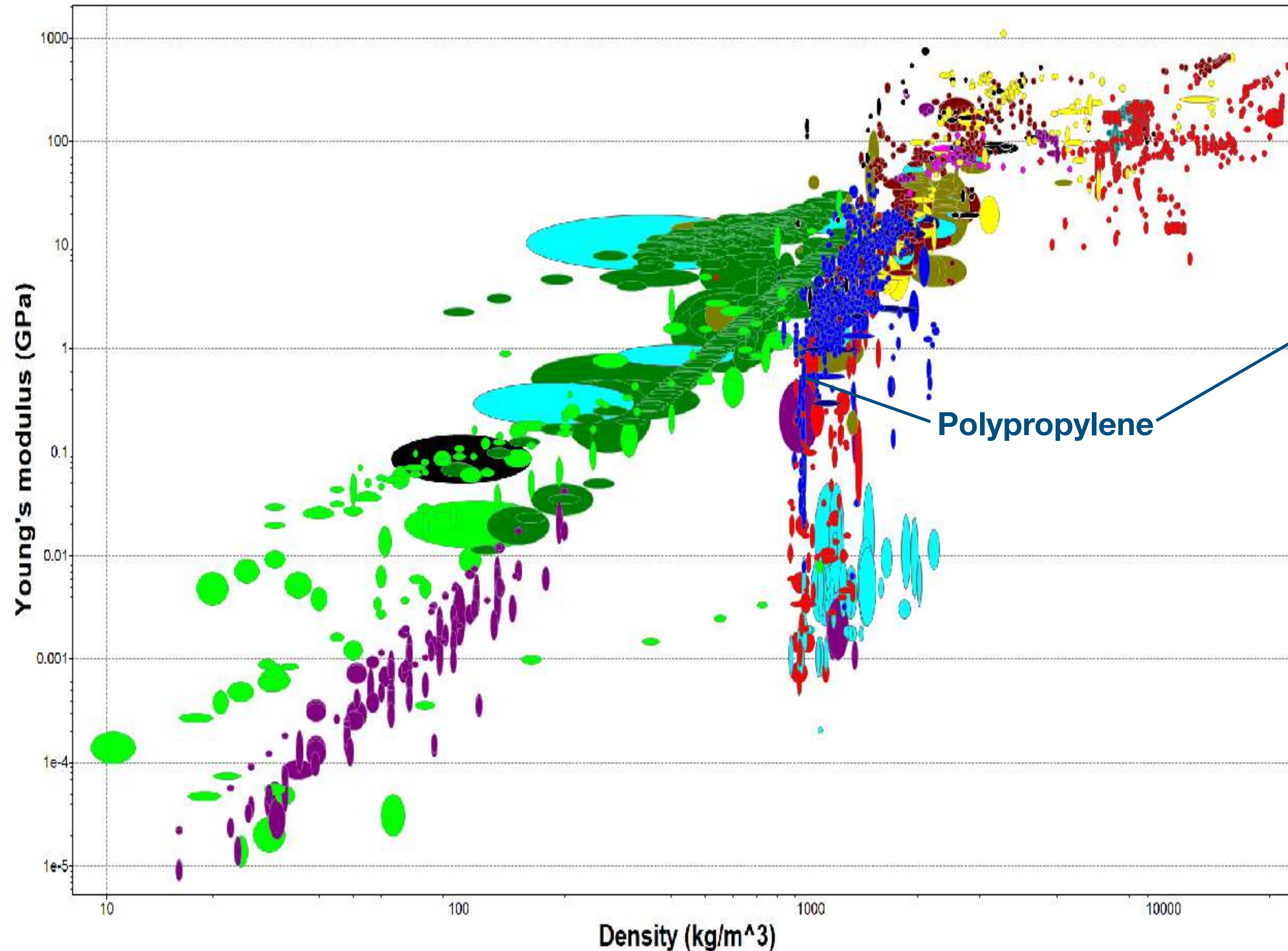
Quale materiale? Una scelta resa più semplice

**Un approccio integrato dove “MATERIALE” e “PROPRIETA” hanno un ambiente dedicato...
... che gestisce i DATABASE come “MAPPE” e fornisce una “BUSSOLA” per orientarsi**



Database, Mappe, Compassi

Un DATABASE organizzato ai fini del progetto è una MAPPA...



Polymers and elastomers > **Polymers** > Thermoplastics >

Description

Image

Caption

1. Polypropylene samples showing texture and transparency. © Chris Lefter. 2. Polypropylene glasses. © Thinkstock

The material

Polypropylene, PP, first produced commercially in 1950, is the younger brother of polyethylene - a very similar molecule with similar price, processing methods and application. Like PE it is produced in very large quantities (more than 30 million tons per year in 2020), growing at nearly 10% per year, and like PE its molecule-lengths and side branches can be tailored by clever catalysts, giving precise control of impact strength, one of the properties that enhance molding and drawing, in its pure form polypropylene is flammable and degrades in sunlight. Fill additives make it slow to burn and stabilizers give it extreme stability, both to UV radiation and to fresh and salt water and most aqueous solutions.

Composition (summary)

(C₃H₆)_n

General properties

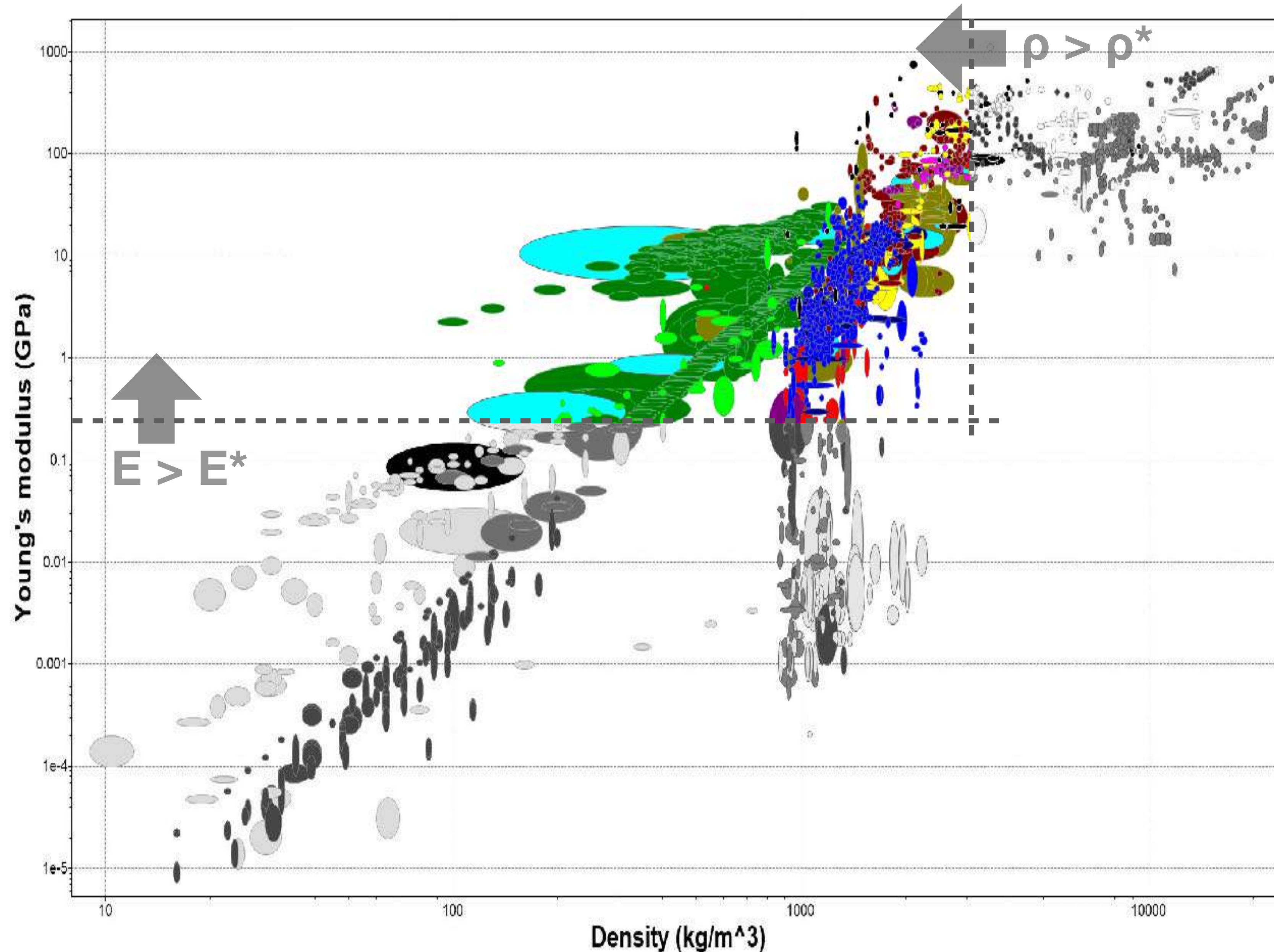
Density	①	890	-	910	kg/m ³
Price	①	1.7	-	1.77	USD/kg
Date first used	①	1957			

Mechanical properties

Young's modulus	①	0.896	-	1.55	GPa
Shear modulus	①	0.346	-	0.548	GPa
Bulk modulus	①	2.4	-	2.4	GPa
Poisson's ratio	①	0.405	-	0.477	



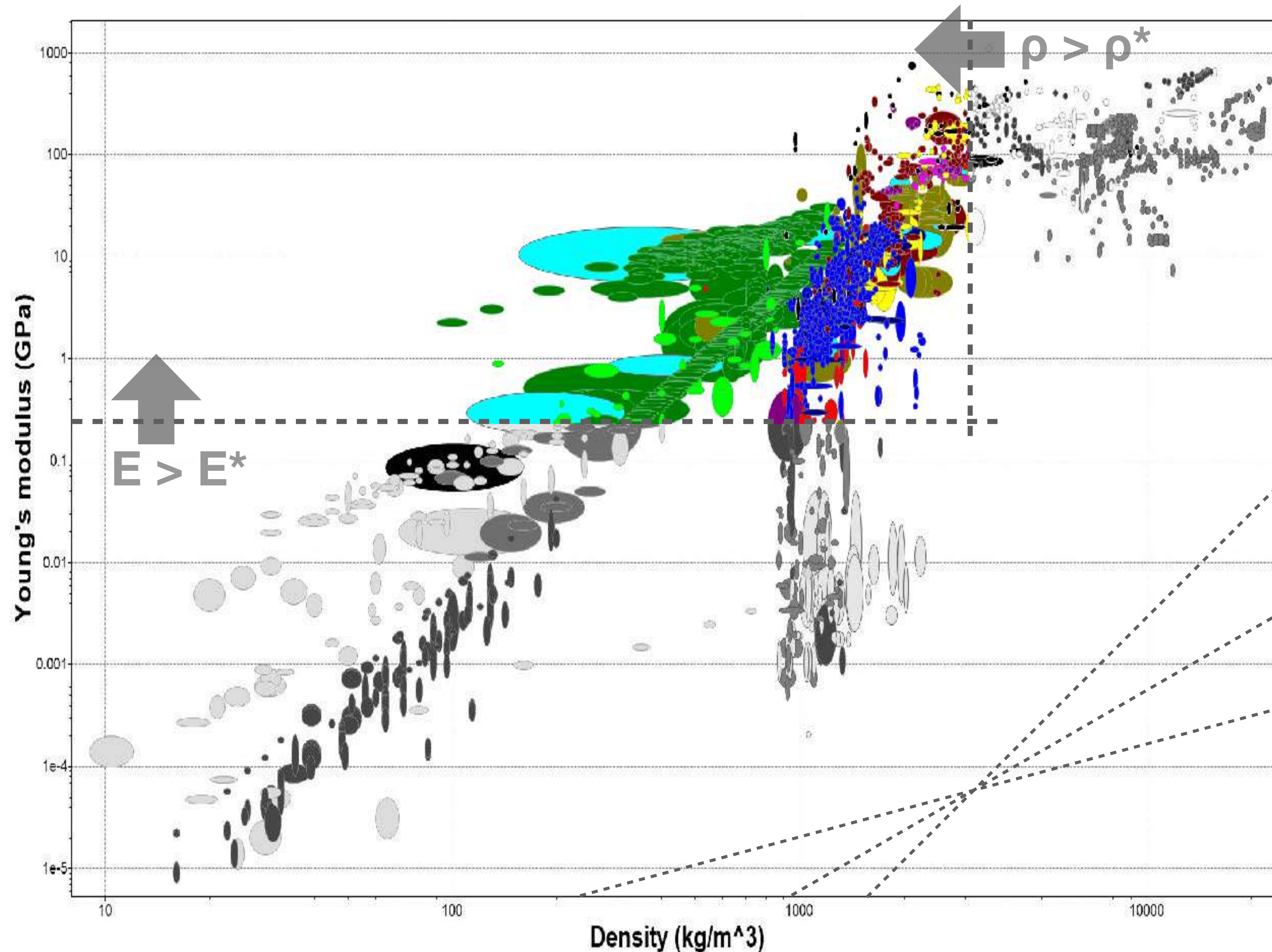
Database, Mappe, Compassi



*Un DATABASE organizzato ai fini del progetto è una MAPPA...
... dove le coordinate rappresentano i requisiti minimi da soddisfare...*



Database, Mappe, Compassi

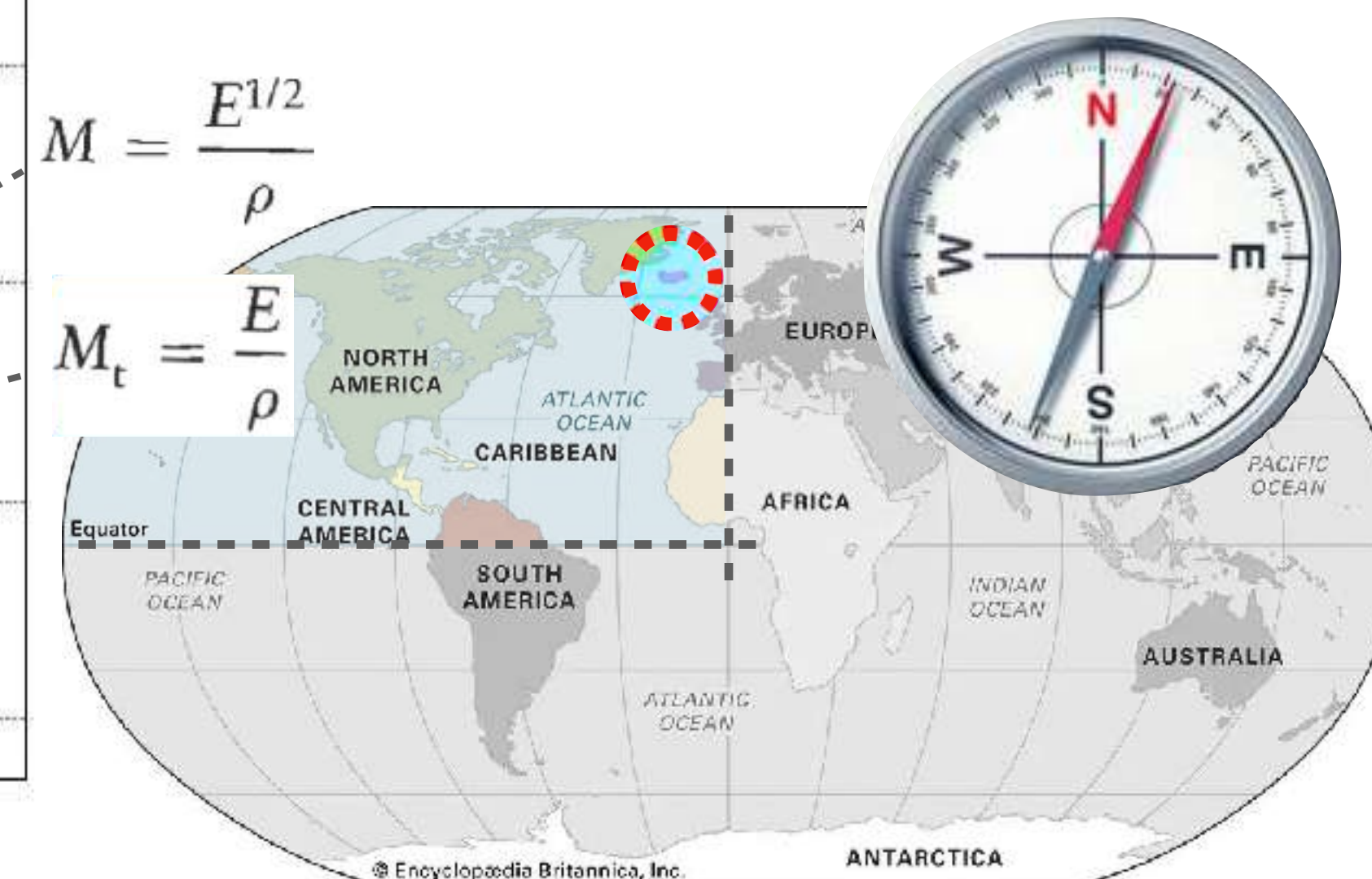


*Un DATABASE organizzato ai fini del progetto è una MAPPA...
... dove le coordinate rappresentano i requisiti minimi da soddisfare...
... e criteri di eccellenza guidano verso il materiale migliore*

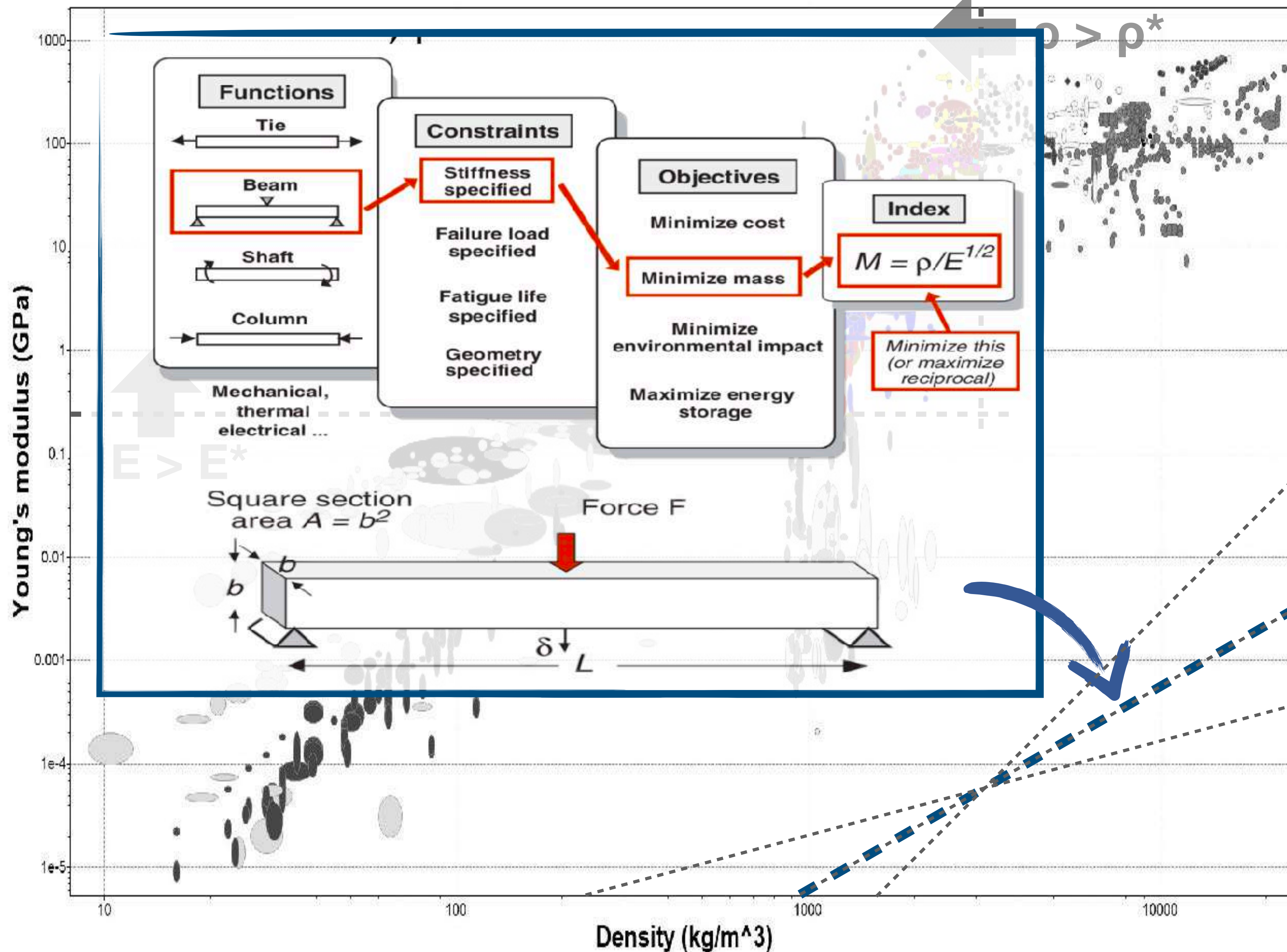
$$M_p = \frac{E^{1/3}}{\rho}$$

$$M = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

$$M_t = \frac{E}{\rho}$$



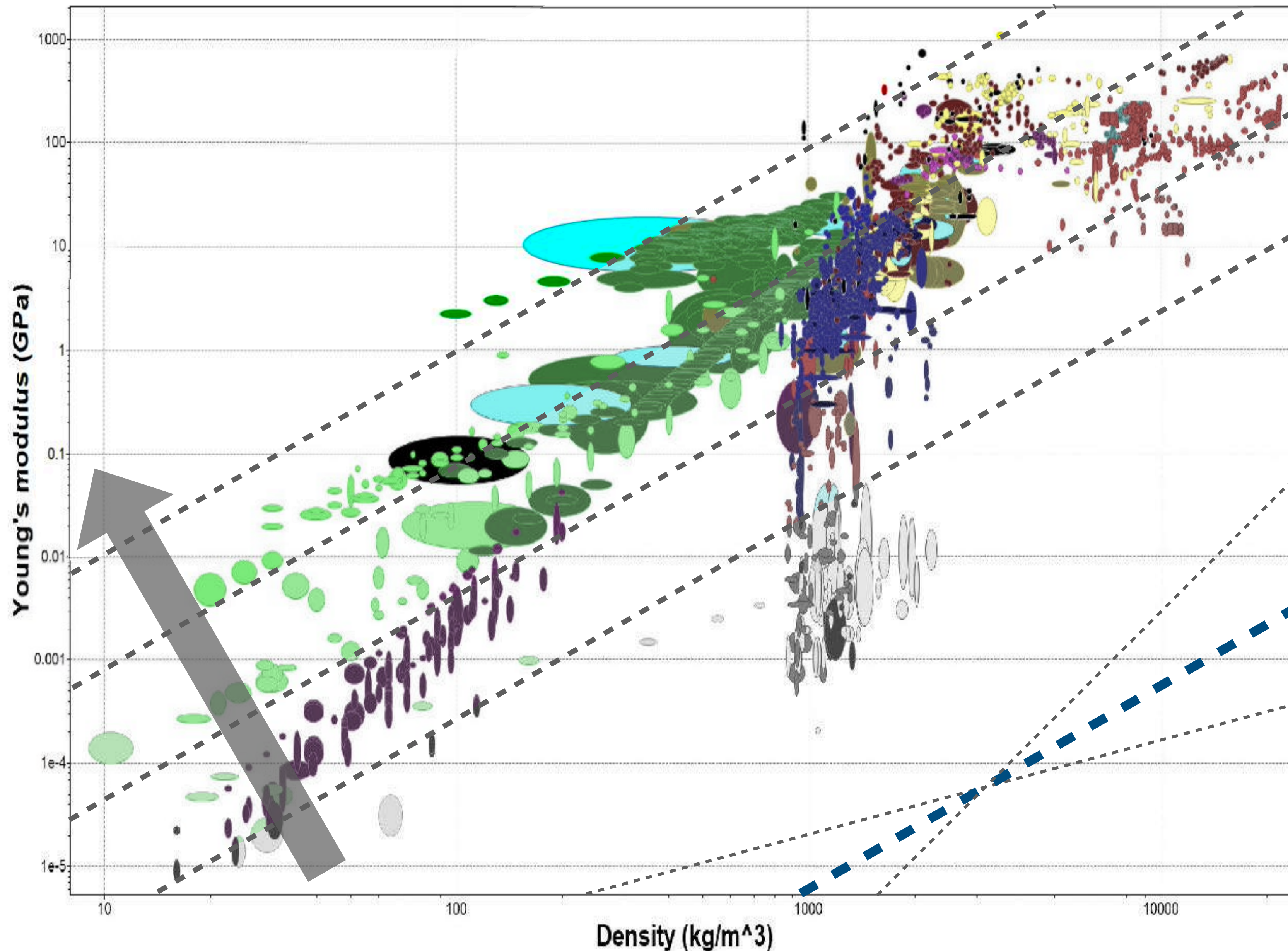
Database, Mappe, Compassi



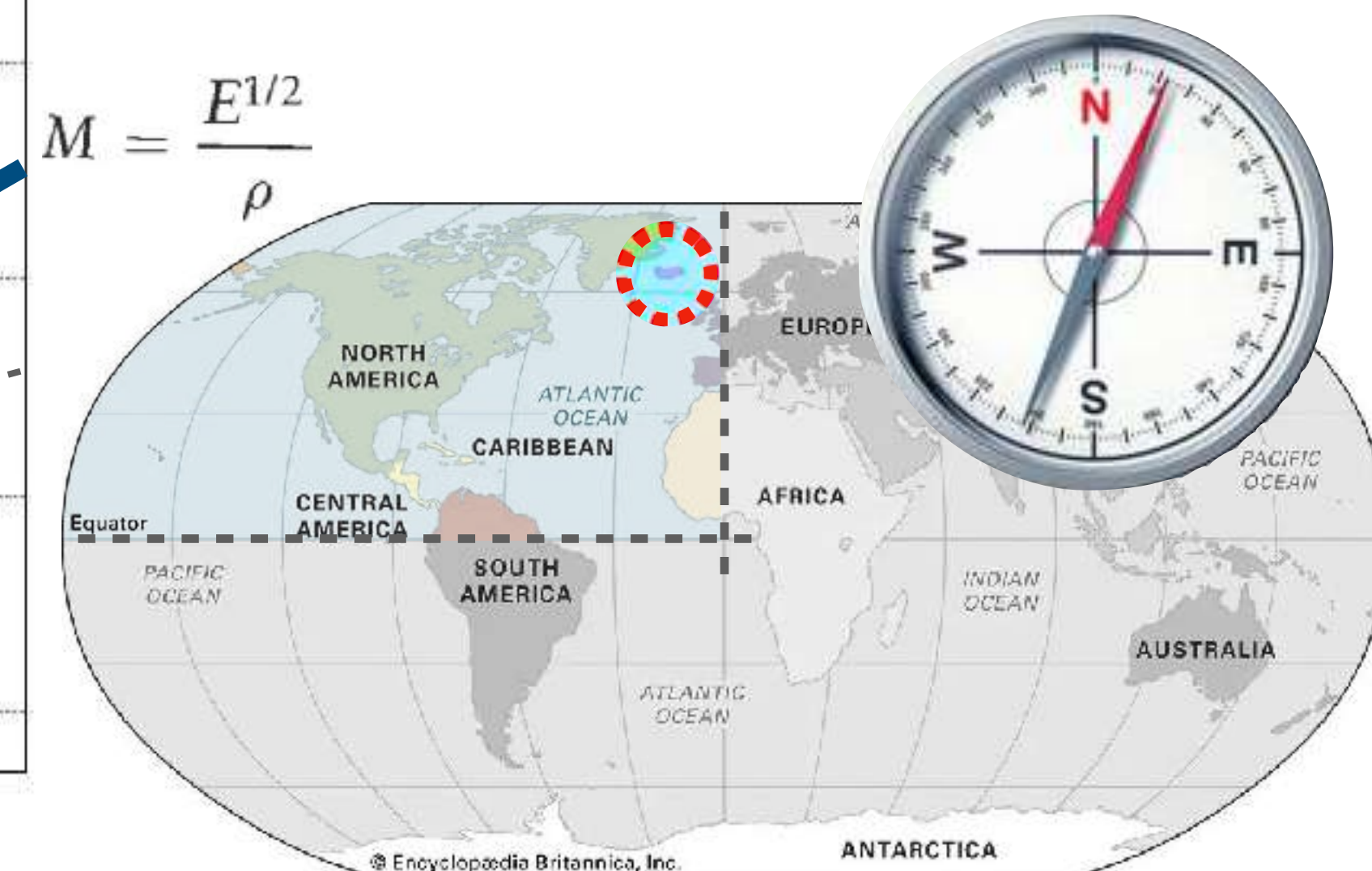
Un DATABASE organizzato ai fini del progetto è una MAPPA...
... dove le coordinate rappresentano i requisiti minimi da soddisfare...
... e criteri di eccellenza guidano verso il materiale migliore



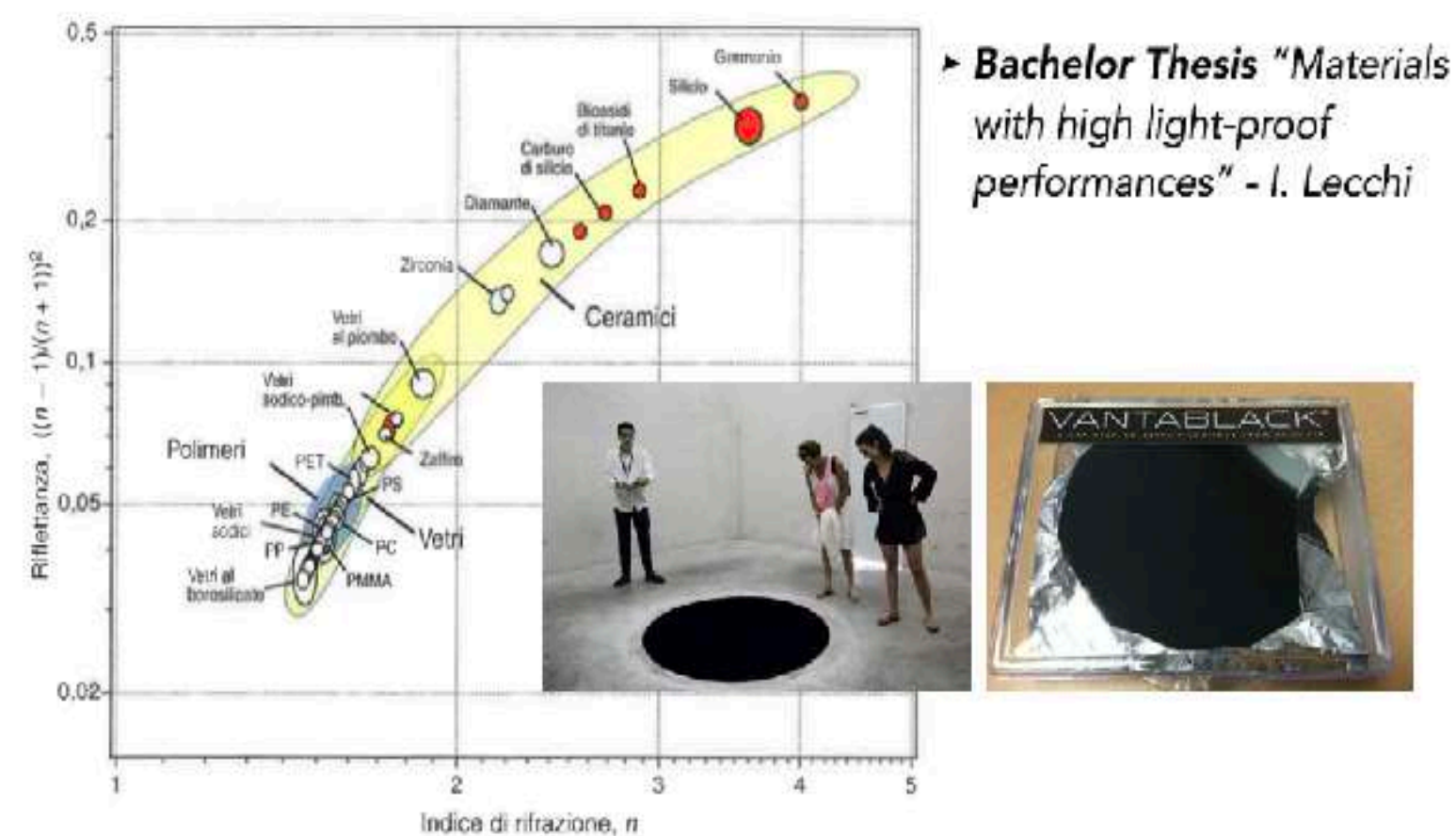
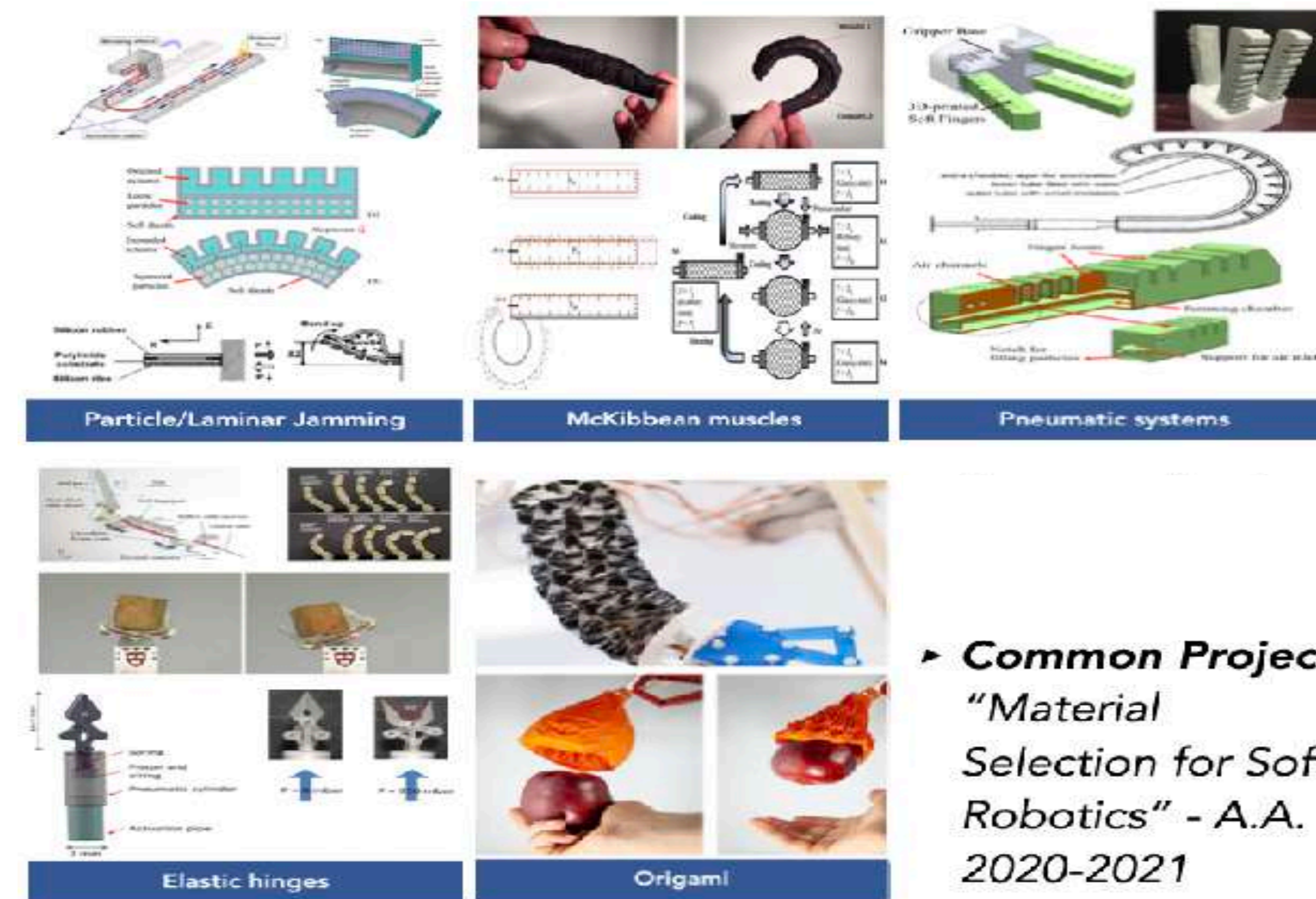
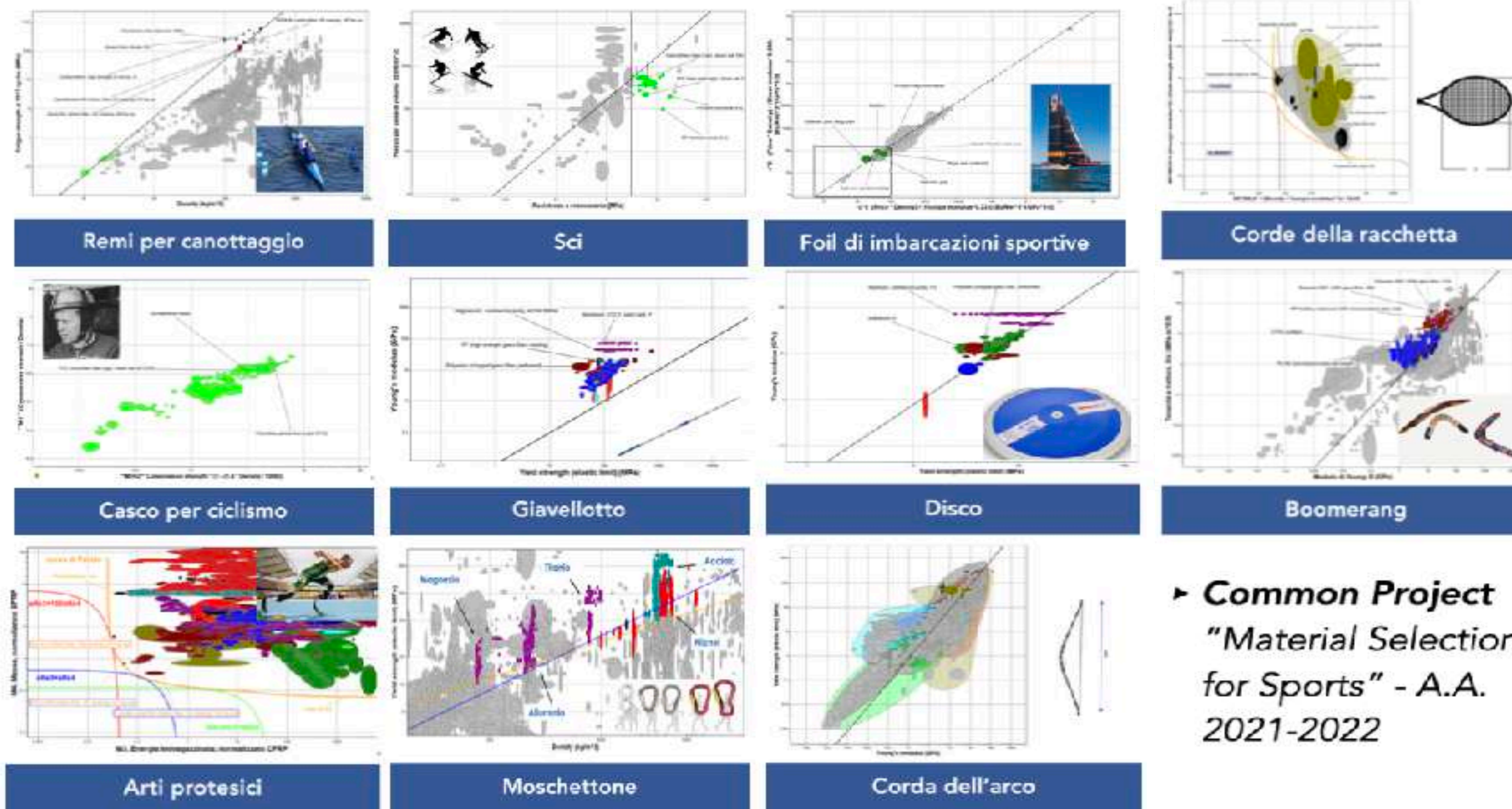
Database, Mappe, Compassi



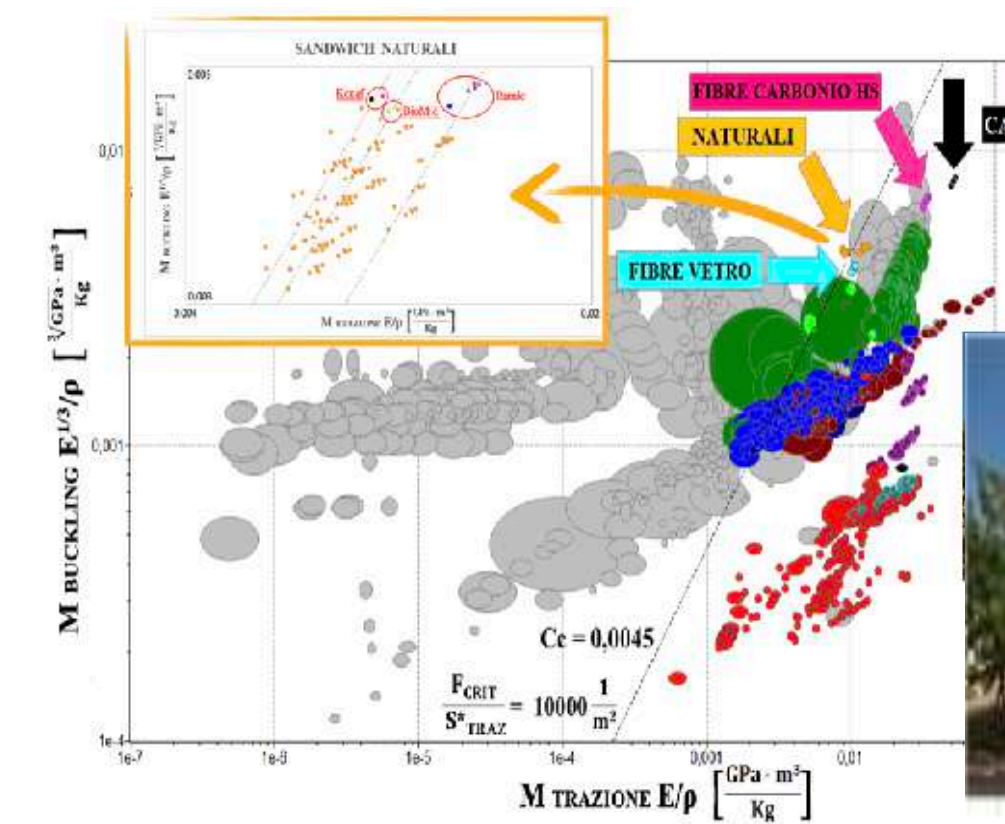
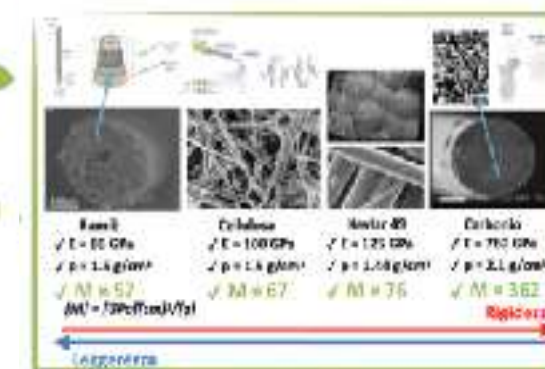
*Un DATABASE organizzato ai fini del progetto è una MAPPA...
... dove le coordinate rappresentano i requisiti minimi da soddisfare...
... e criteri di eccellenza guidano verso il materiale migliore*



Un metodo versatile



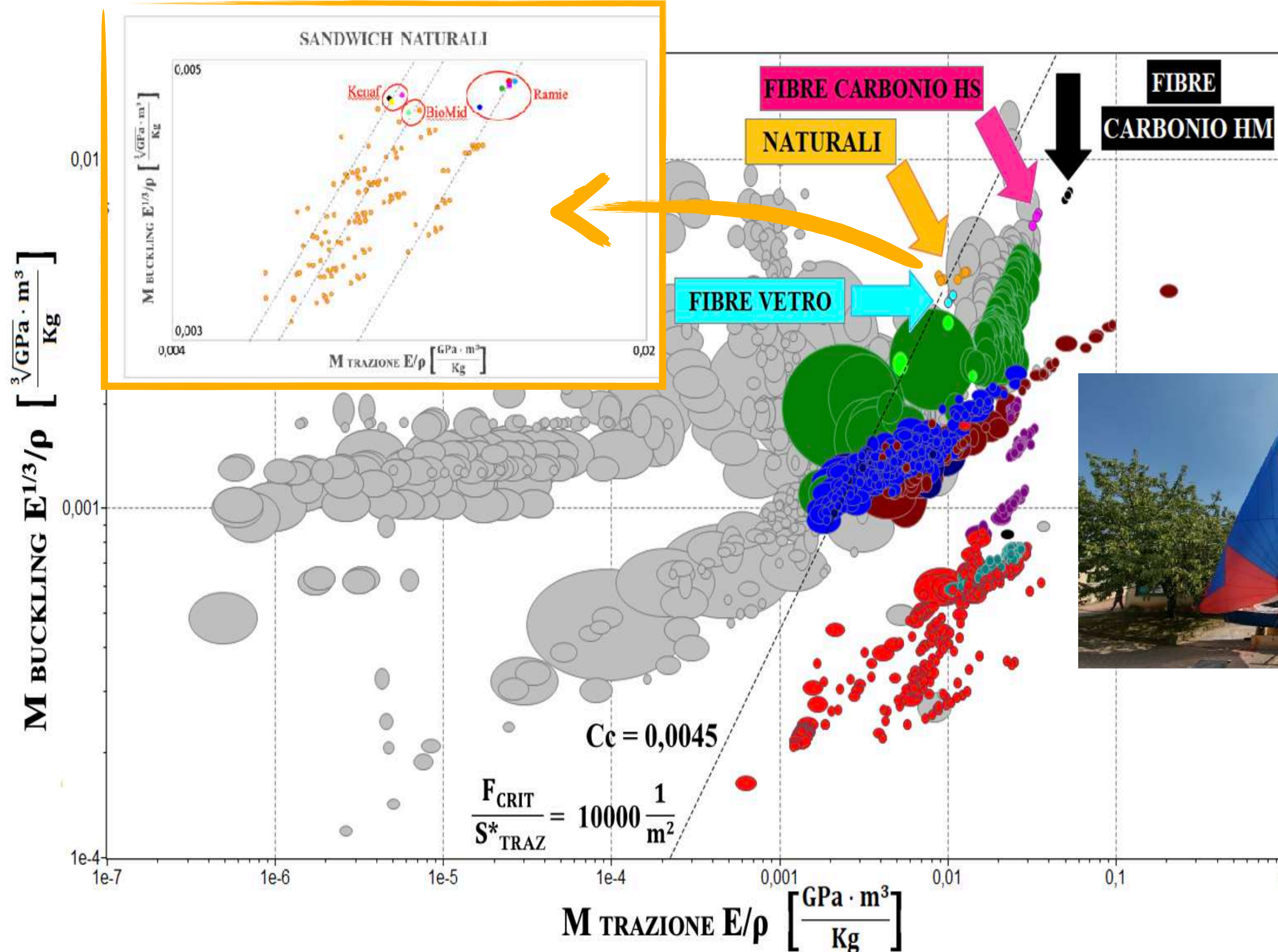
► **Bachelor Thesis:** "Le potenzialità dei materiali naturali secondo i criteri di selezione del materiale per applicazioni ingegneristiche" V. Mandolini



► **Master Thesis:** "La selezione del materiale nella nautica sportiva e il caso della barca "Pelèr" - R. Romaioli



Il caso della barca "Pelèr"



- **Master Thesis:** "La selezione del materiale nella nautica sportiva e il caso della barca "Pelèr" - R. Romaioli



La "1001 Vela Cup"

- Regata Interuniversitaria
- Sviluppo, dal progetto alla realizzazione, interno all'Università
- Gara condotta dagli studenti
- Imbarcazione di tipo "Skiff" (Sailing Keep It Fast and Flat)
- Requisiti specifici sui materiali:
"[...] contenuto in legno o materiali di origine vegetale e/o animale, espresso in peso, non inferiore al 70%. [...] Nella realizzazione di scafo, coperta, terrazze appendici, albero e boma non sono ammessi i seguenti materiali: fibre aramidiche, fibre di carbonio, titanio.»



Un lavoro di squadra!

CUS Brescia Sailing Team ...

MASSIMO COLLOTTA
FABIO PICCINELLI
GUIDO PATERLINI
GABRIELE AVOGARDI
ARNALDO BONFADINI
ALESSANDRO ARCHETTI

GIULIA MARTELLO
LAURA PEZZOLI
PIETRO GRANELLO
MARCO LANDRIANI
CLAUDIO DANESI

... e con il supporto di

ING. GIOVANNI PIZZATTI
ING. ALBERTO PINZONI
PROF. MARCO ALBERTI
PROF. GIORGIO DONZELLA
PROF. LUIGI SOLAZZI
PROF. STEFANO PANDINI
PROF. GIUSEPPE TOMASONI

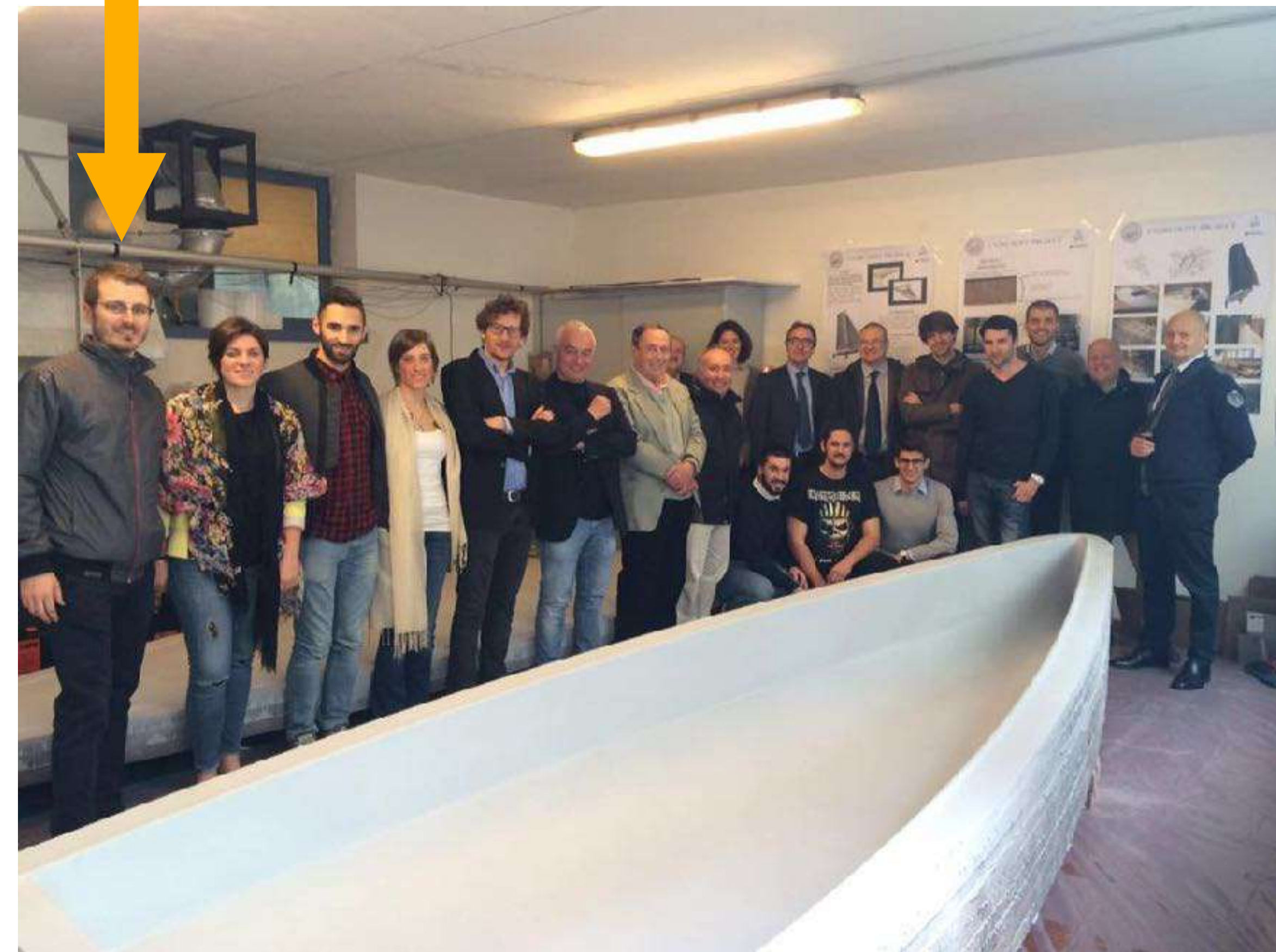


Il caso della barca "Pelèr"

Ing. Massimo Collotta, PhD



CUS Sailing Team, 2012



Università di Brescia, 2016



Evoluzione nei materiali nella nautica

STORIA DELLA NAUTICA
NAUTICA SOPRATIVA

efficacia

grandezza

potenza

leggerezza

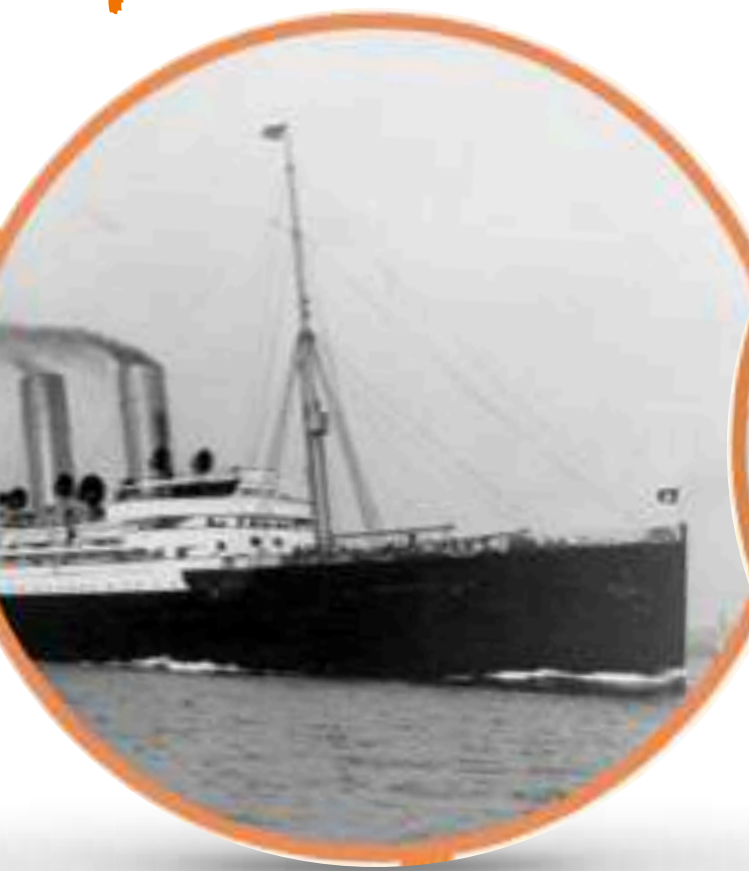
innovazione



legno, materiali
naturali



legno
ferro



ferro
acciaio



vetroresina, alluminio
fibre di carbonio



nuovi materiali
(ecosostenibili)



“GREEN SAILING”



Prime navi veloci
"Yachtship" olandesi,
in legno



Riduzione dimensioni,
mantenimento del legno



Introduzione vetroresina



Moderne barche a vela
in vetroresina



Fibre di carbonio,
per l'eccellenza



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

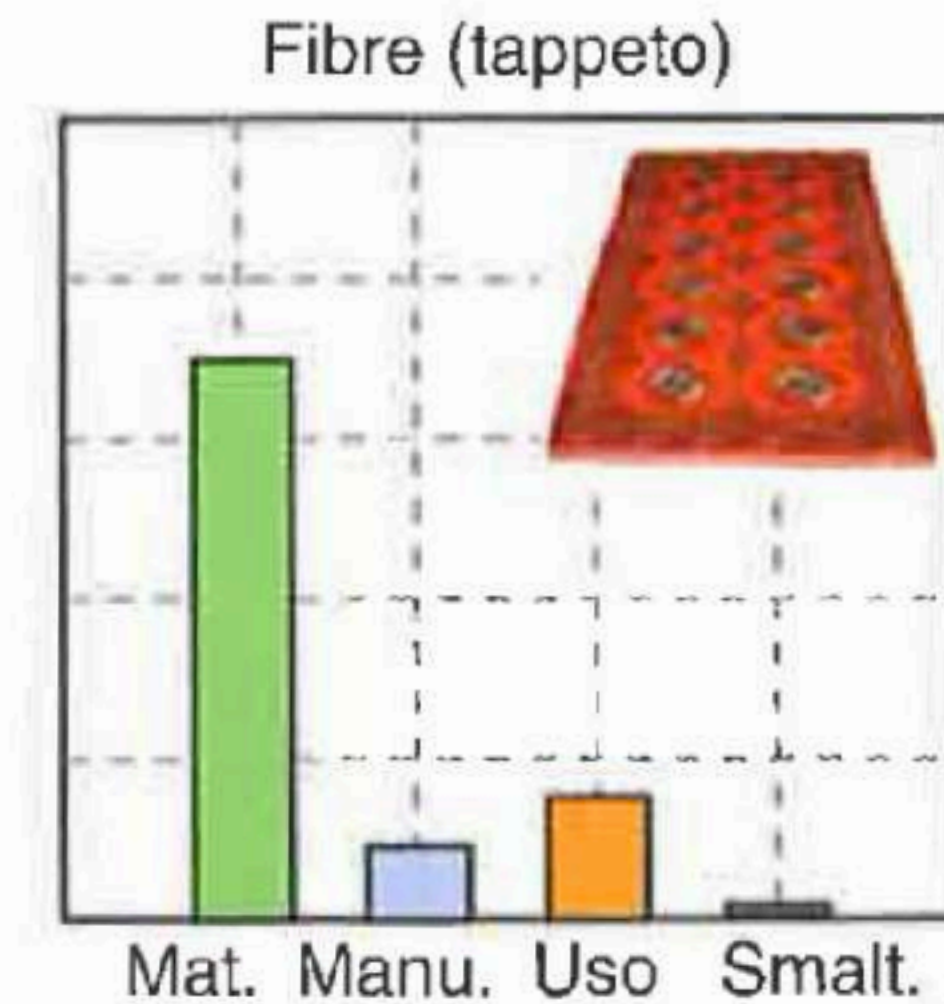
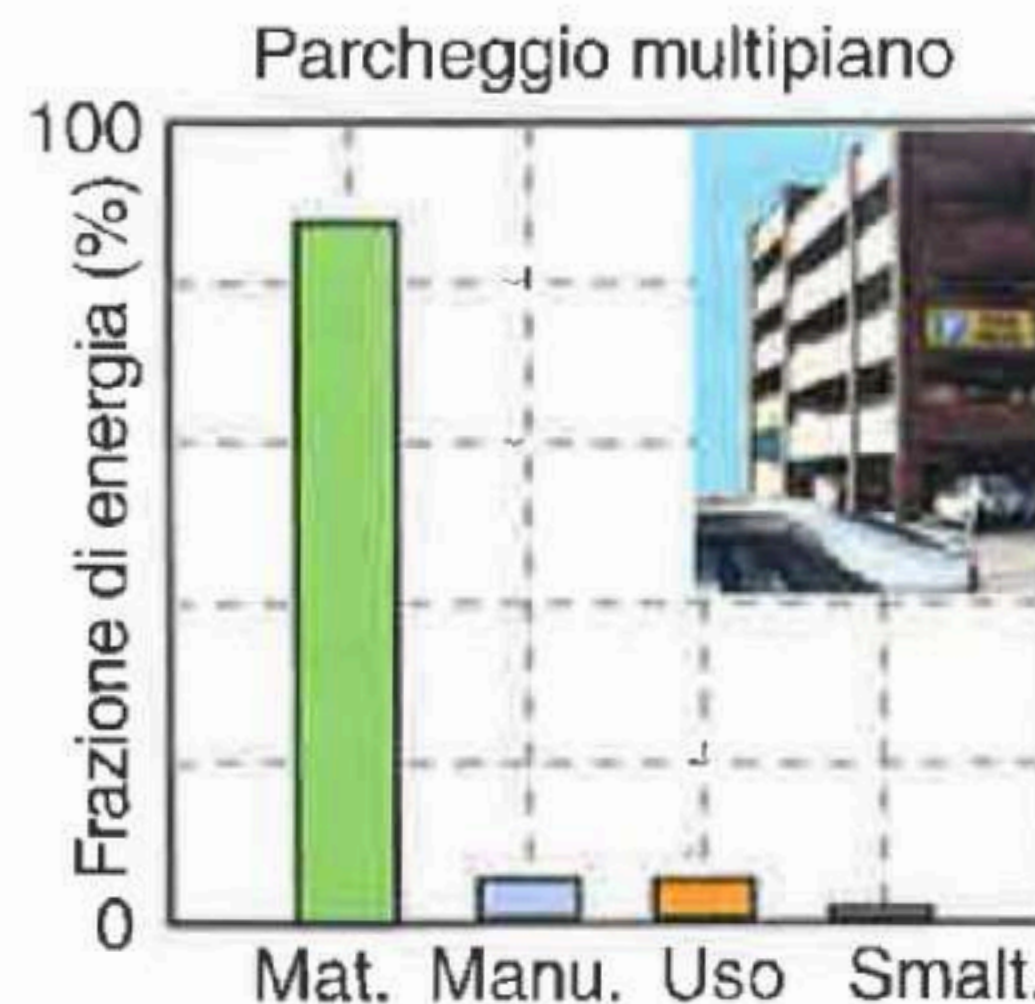
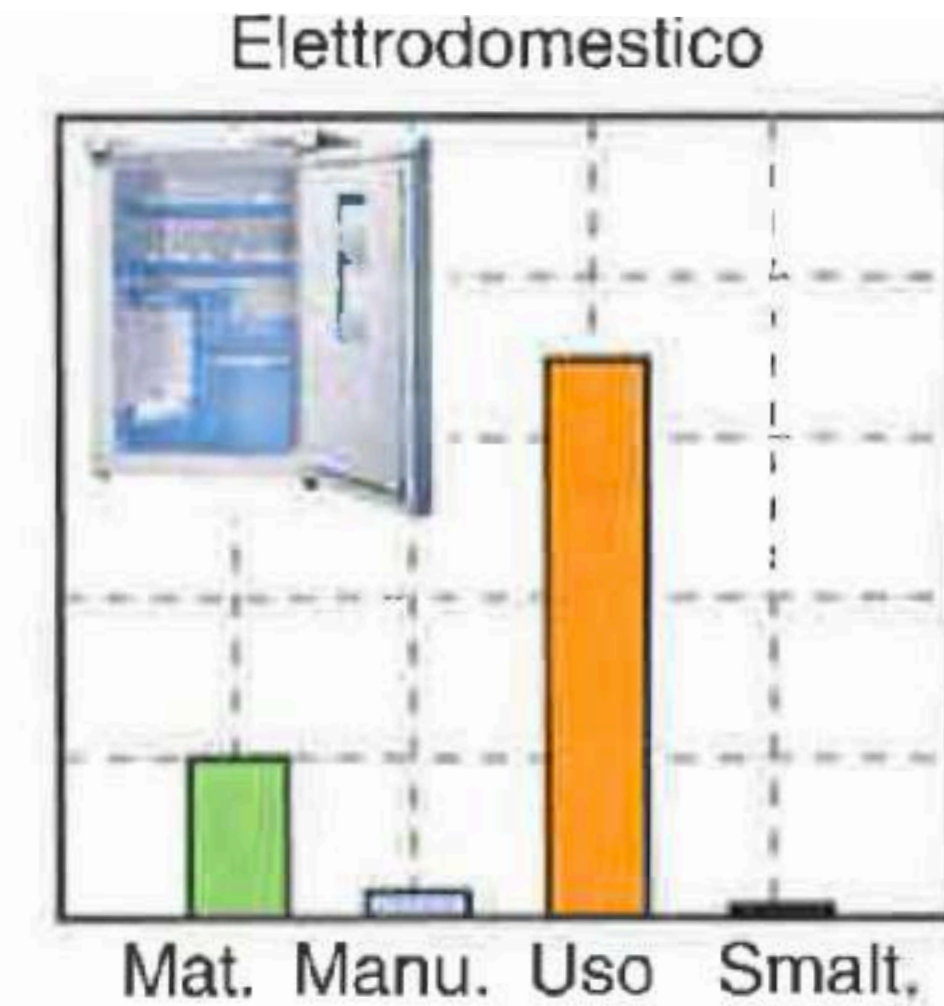
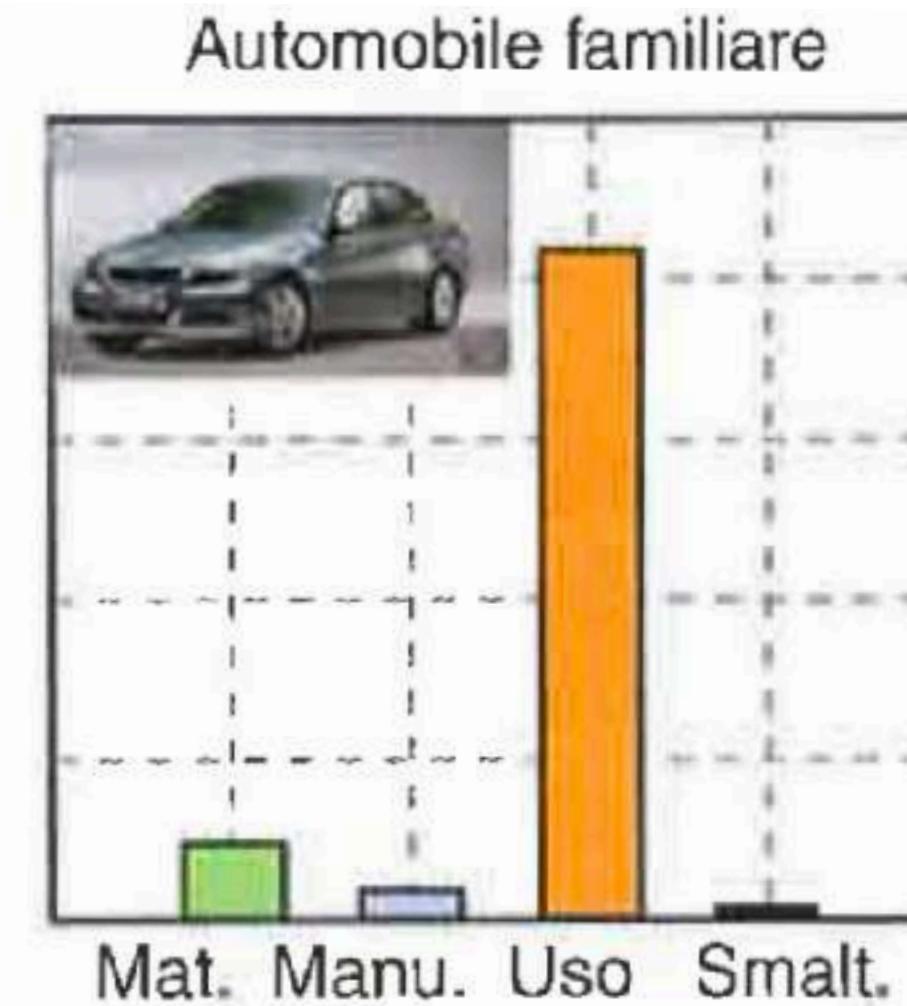
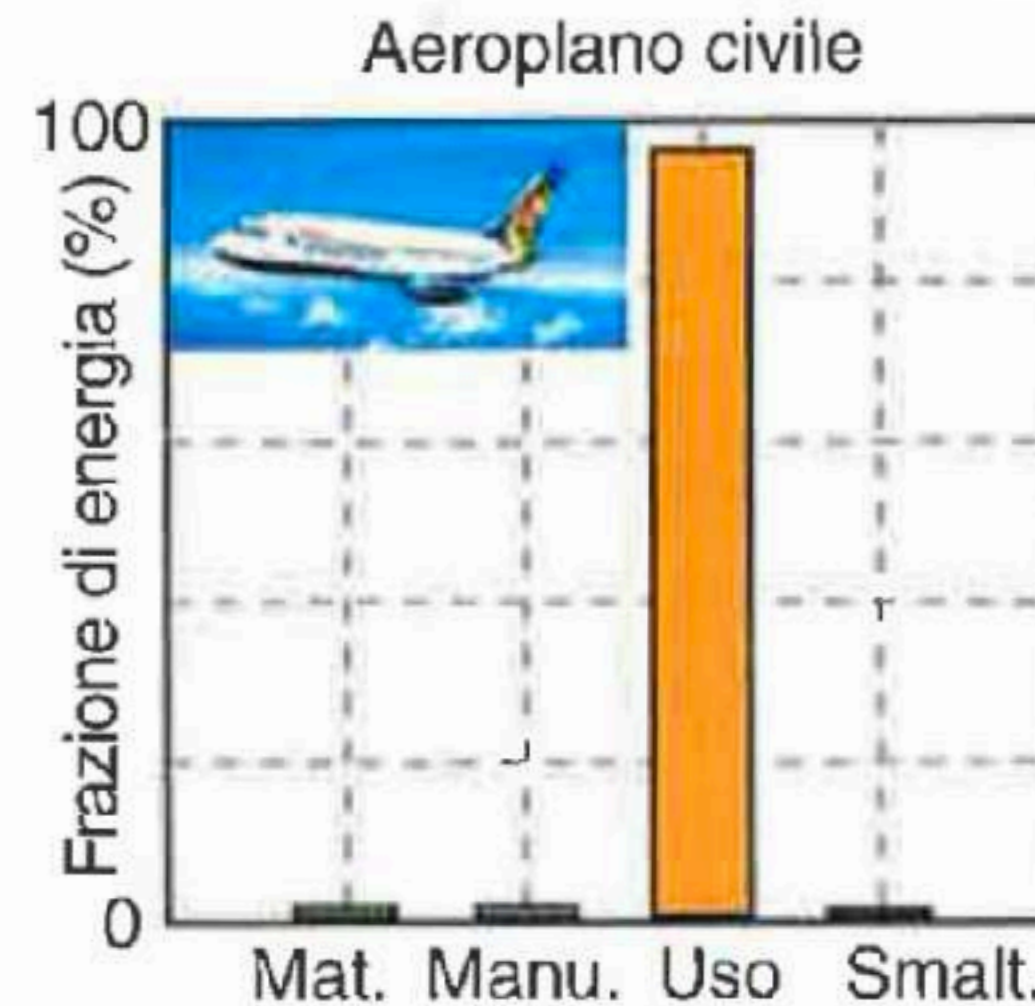
Sostenibilità per la nautica sportiva

Sostenibilità dipende dal profilo specifico del prodotto

► **LCA semplificato: quanta ENERGIA spesa/CO₂ sviluppata...**

- ... per il materiale?
- ... per la realizzazione del manufatto?
- ... per l'utilizzo del manufatto?
- ... per lo smaltimento?

“[...] la migliore barca è quella che si sfascia alla fine della regata”



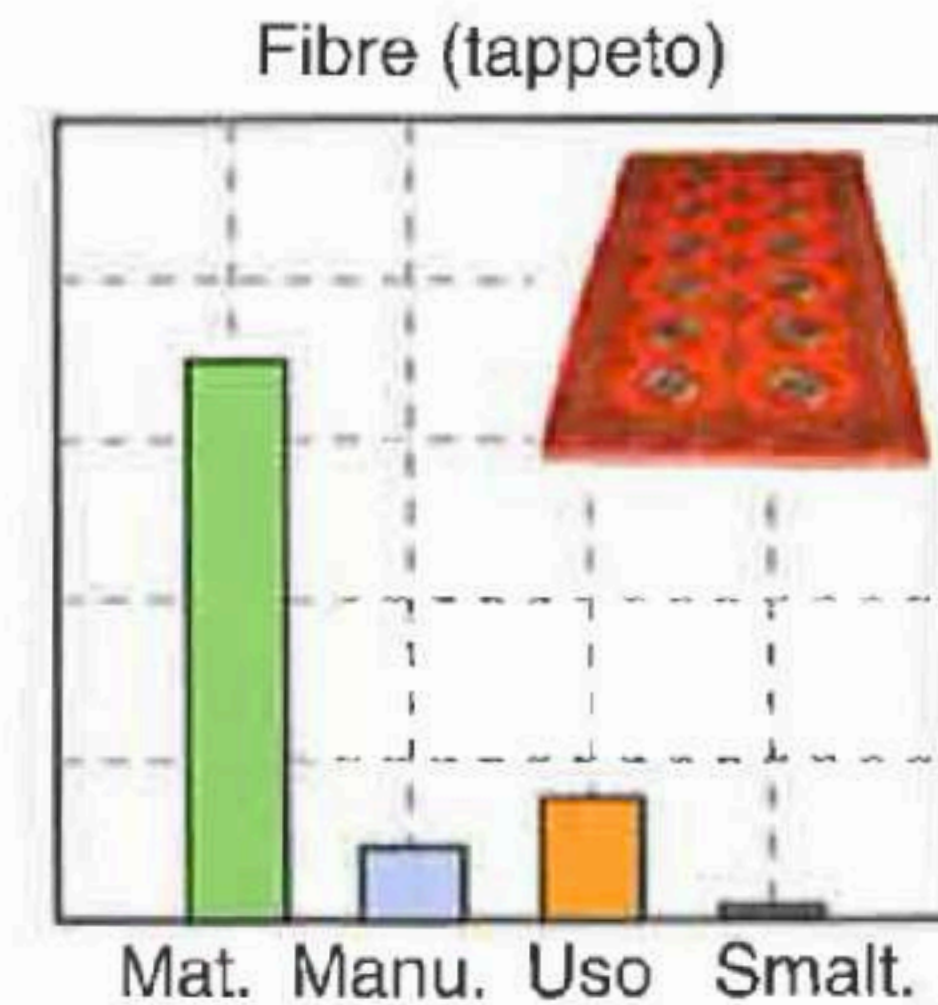
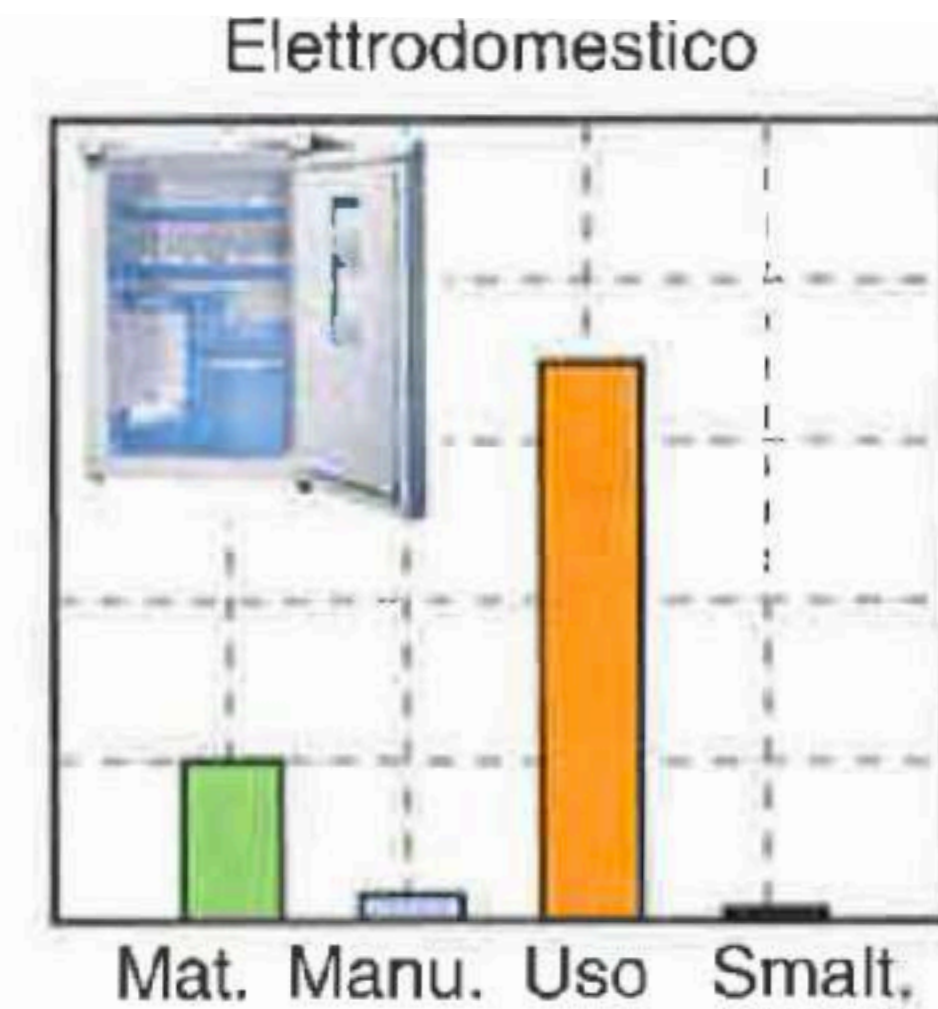
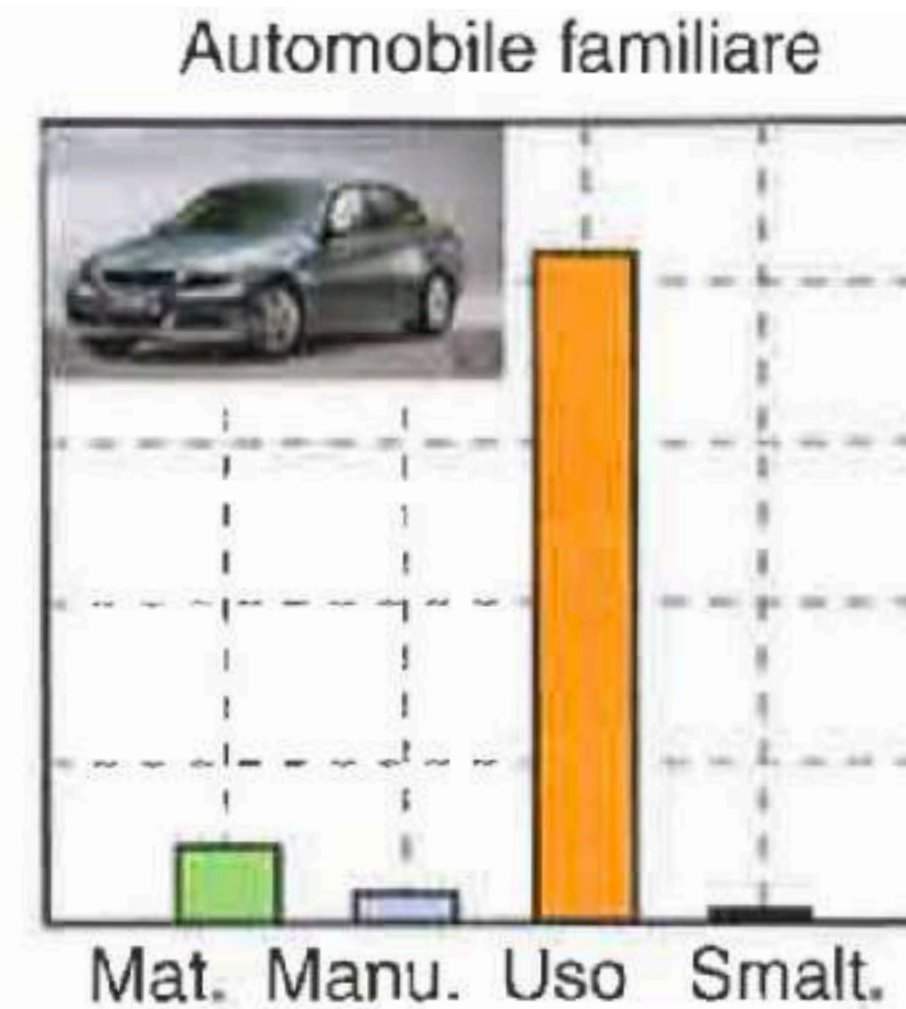
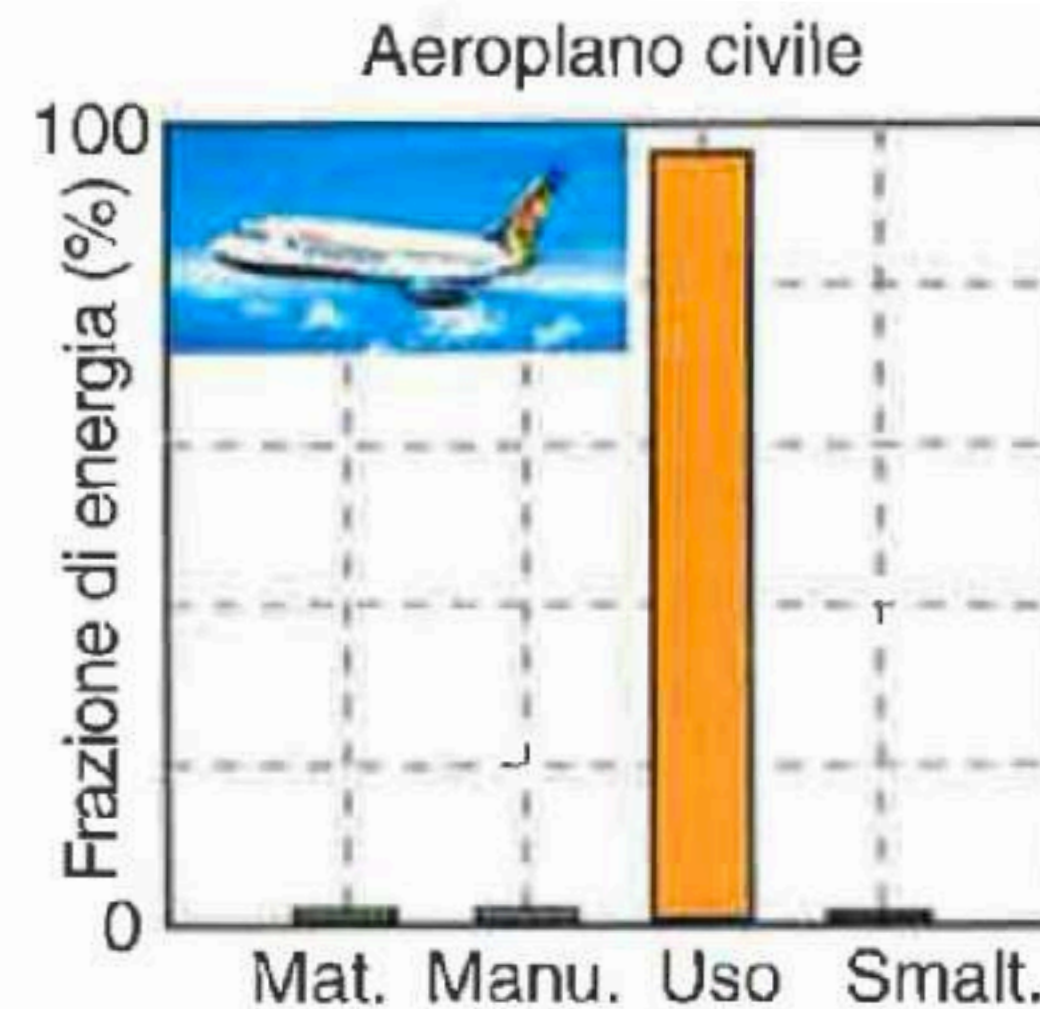
Sostenibilità per la nautica sportiva

Sostenibilità dipende dal profilo specifico del prodotto

► **LCA semplificato: quanta ENERGIA spesa/CO₂ sviluppata...**

- ... per il materiale?
- ... per la realizzazione del manufatto?
- ... per l'utilizzo del manufatto?
- ... per lo smaltimento?

“[...] la migliore barca è quella che si sfascia alla fine della regata”



Evoluzione nei materiali per la nautica sportiva

Sail green!

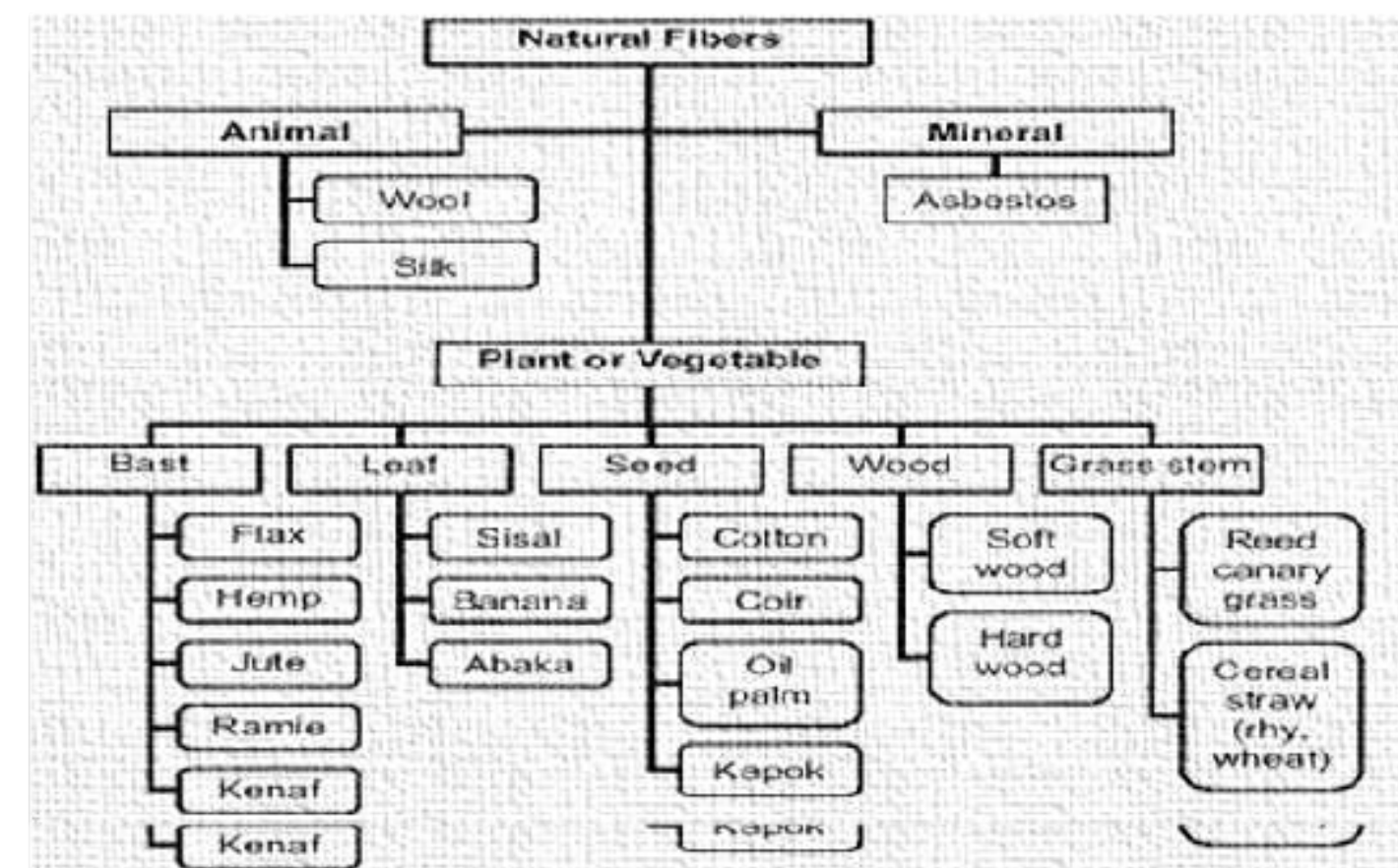
- ▶ materiali leggeri e da risorse rinnovabili
- ▶ resine a basso contenuto di stirene o derivate da risorse naturali
- ▶ utilizzo di legno certificato
- ▶ navigazione a vela o con motori diesel
- ▶ utilizzo di pannelli solari, fotovoltaici e pale eoliche



difficoltà nel recupero e riciclo dei materiali compositi

rinforzi di origine naturale, rinnovabili e riciclabili

matrici da scarti industriali o di origine naturale

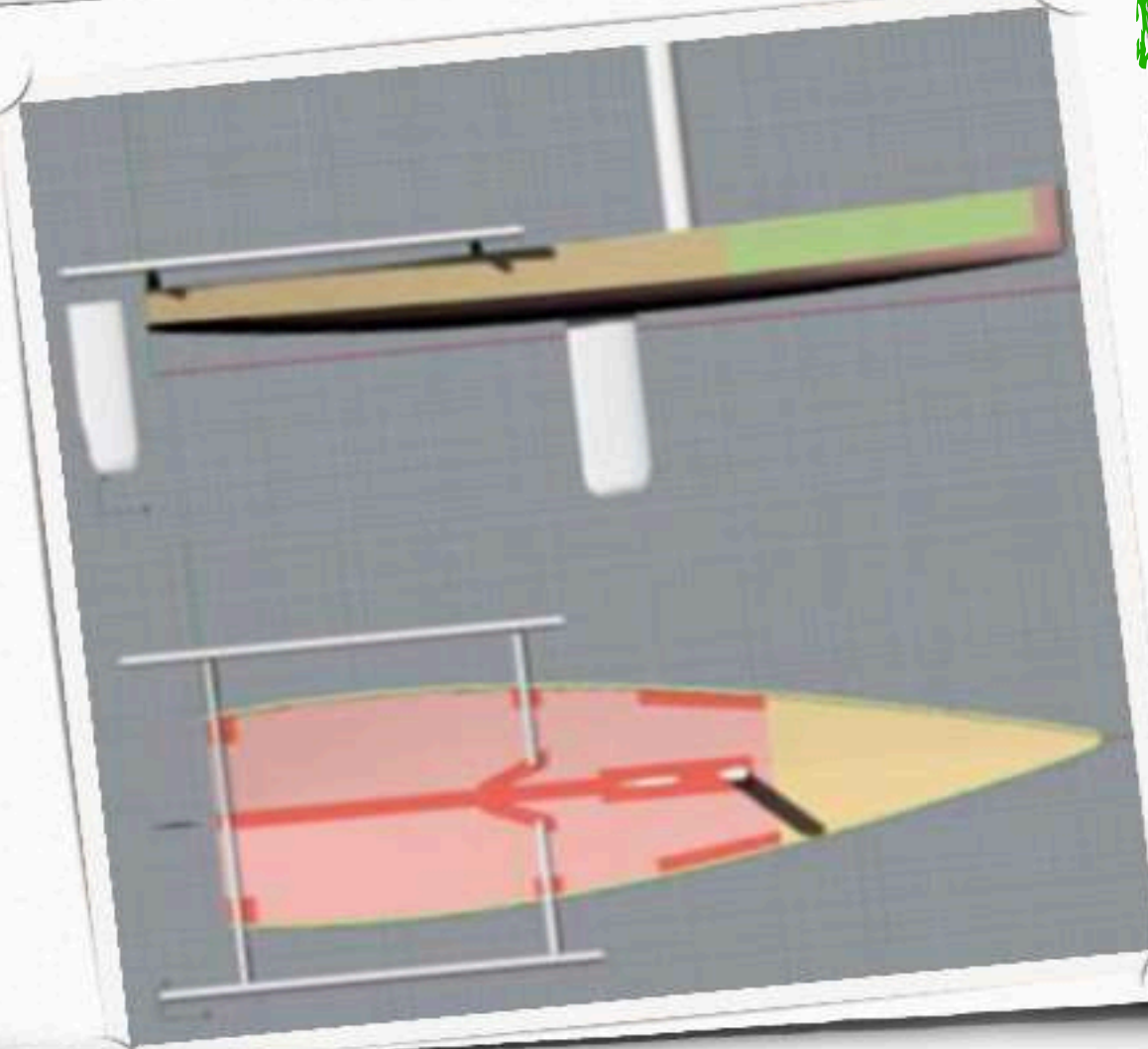
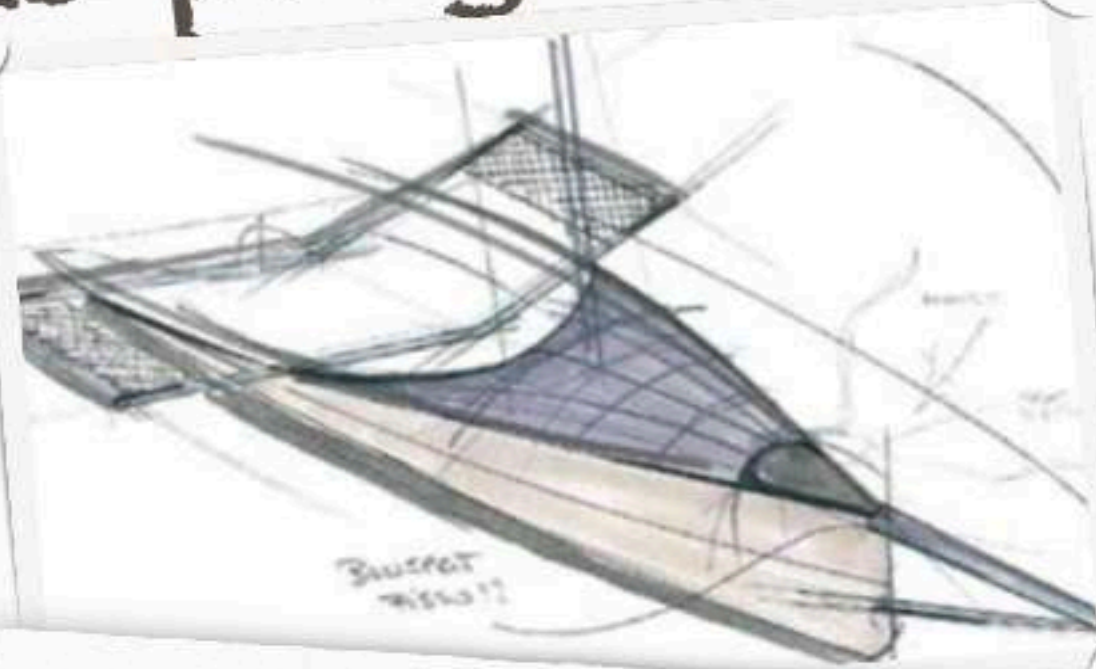


- ✓ Monomeri naturali (soia, mais, canna da zucchero, patate, barbabietole ..)
- ✓ Resine da scarti industriali (da scarti di lavorazione, bio-carburanti, polimeri termoplastici...)



La barca "Pelèr"

Dall'idea al progetto



La scelta del materiale



La realizzazione dello scafo



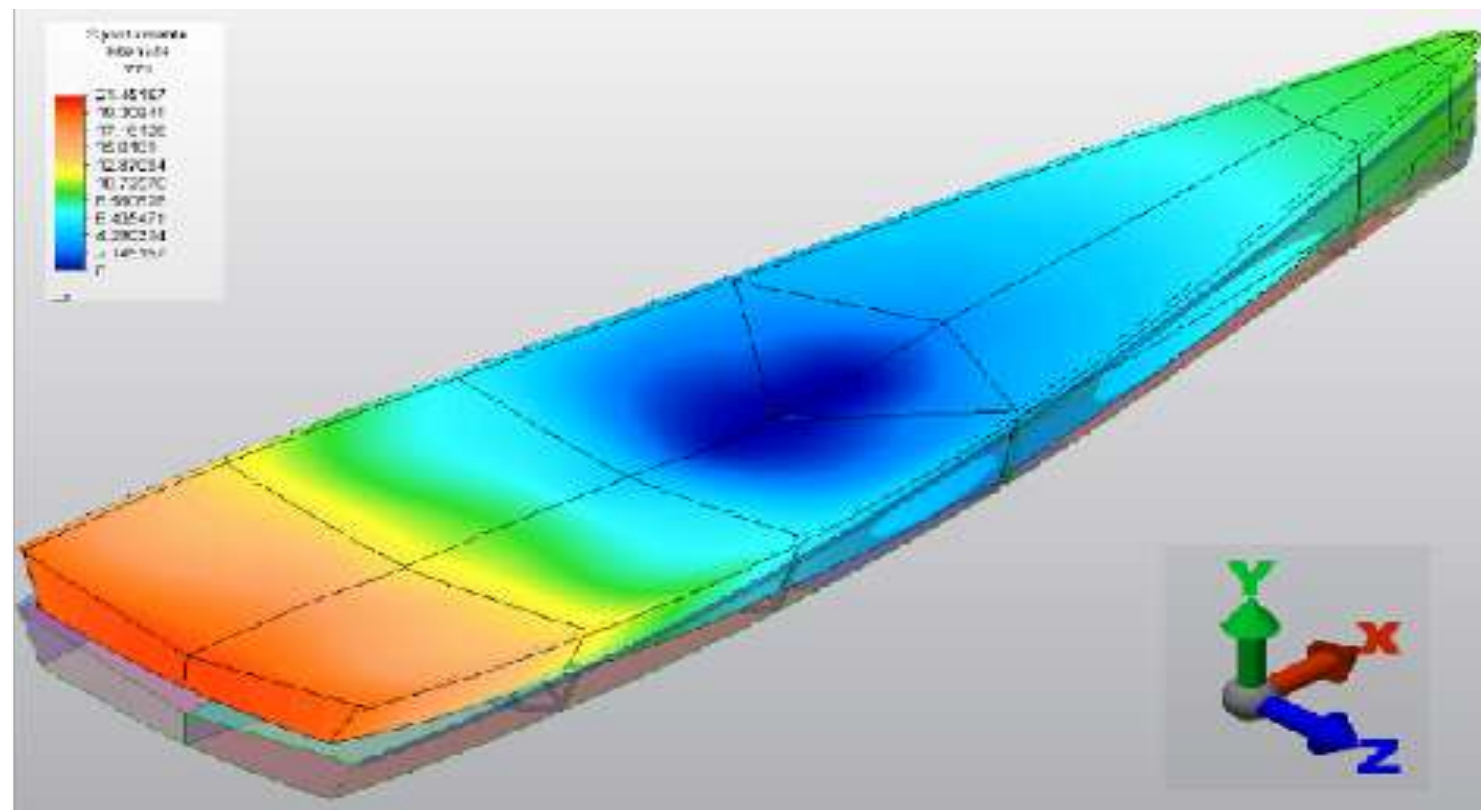
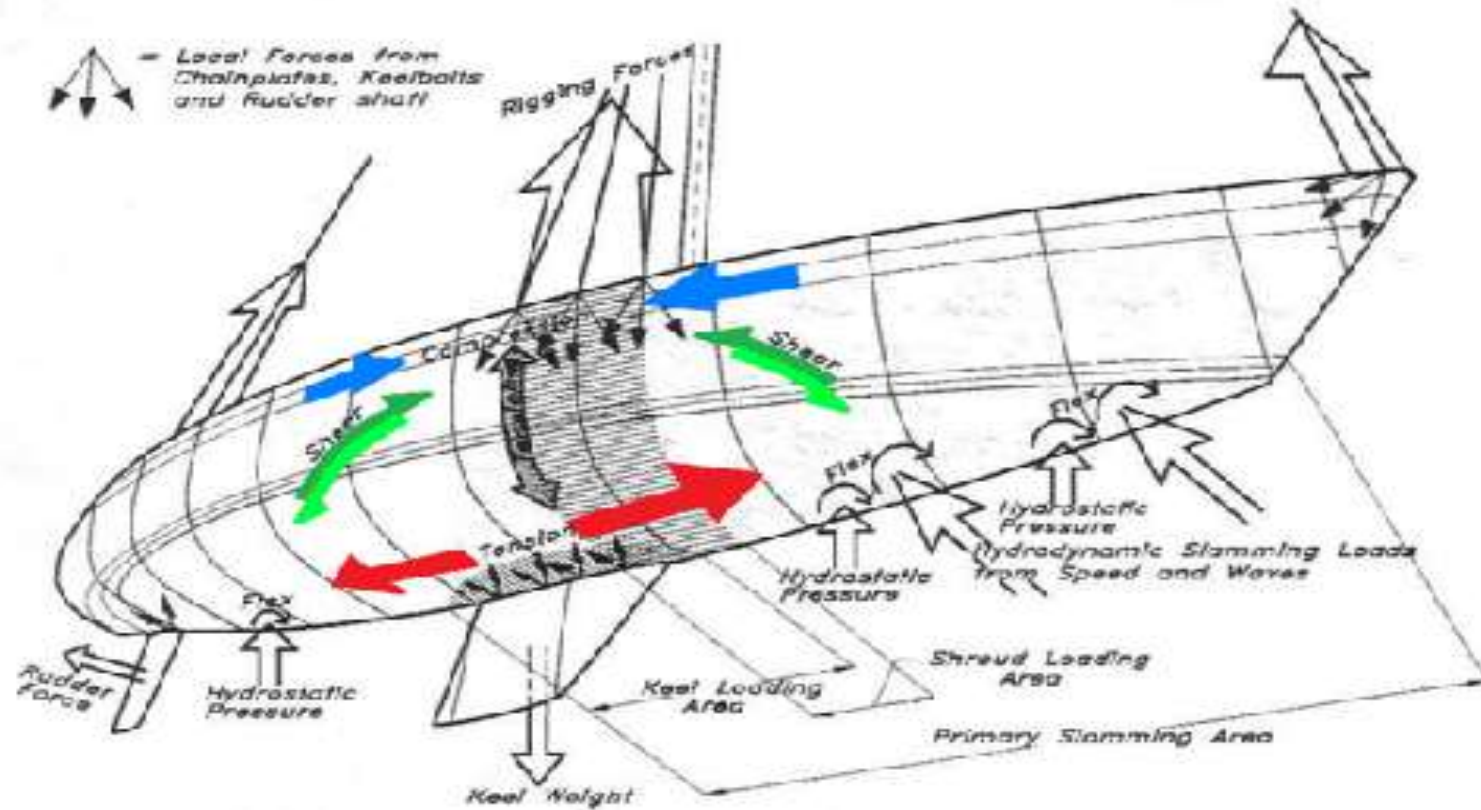
La competizione



M10.01
VELA
cup

La selezione del materiale dello scafo

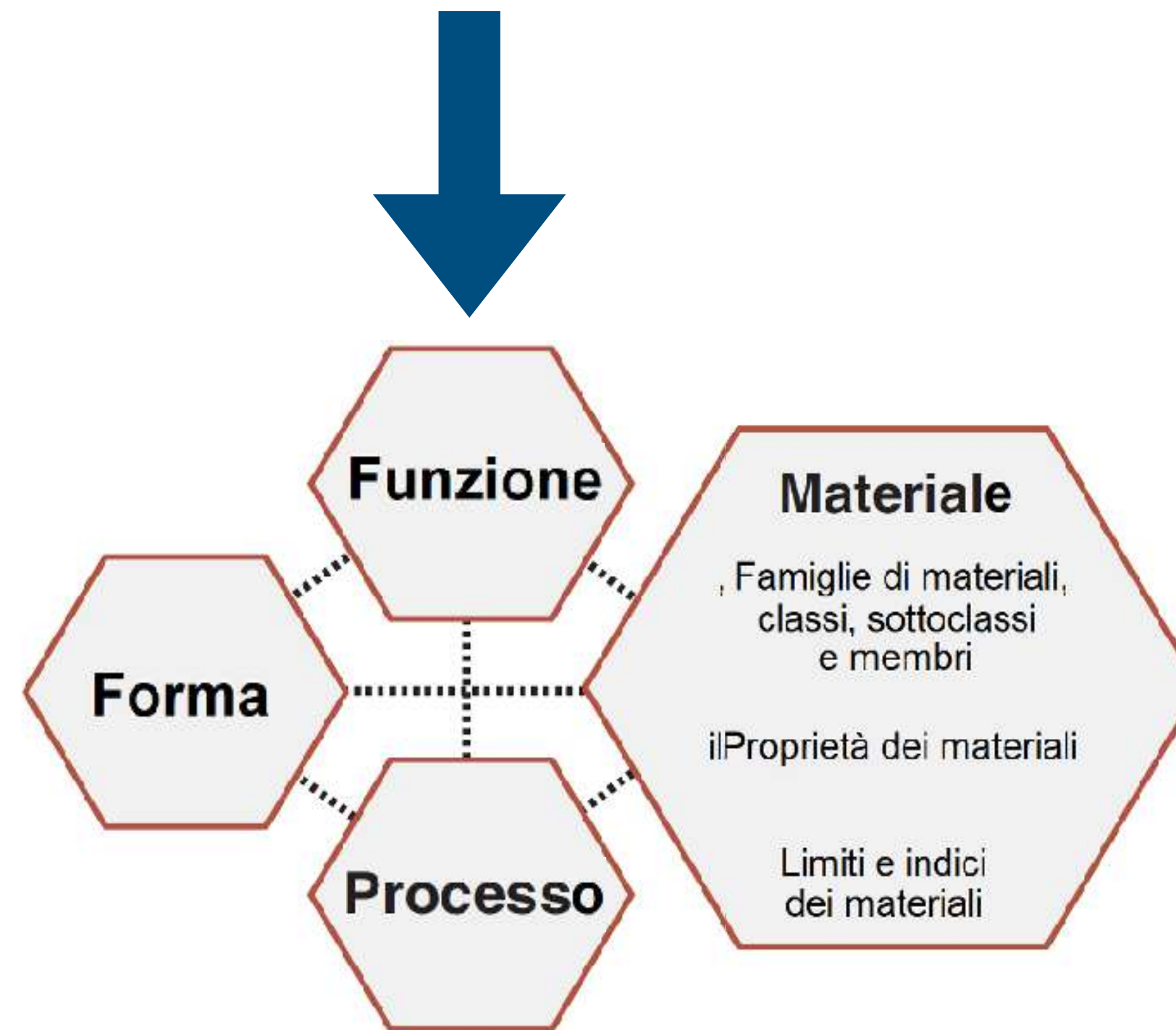
Requisiti



Requisiti specifici sui materiali:

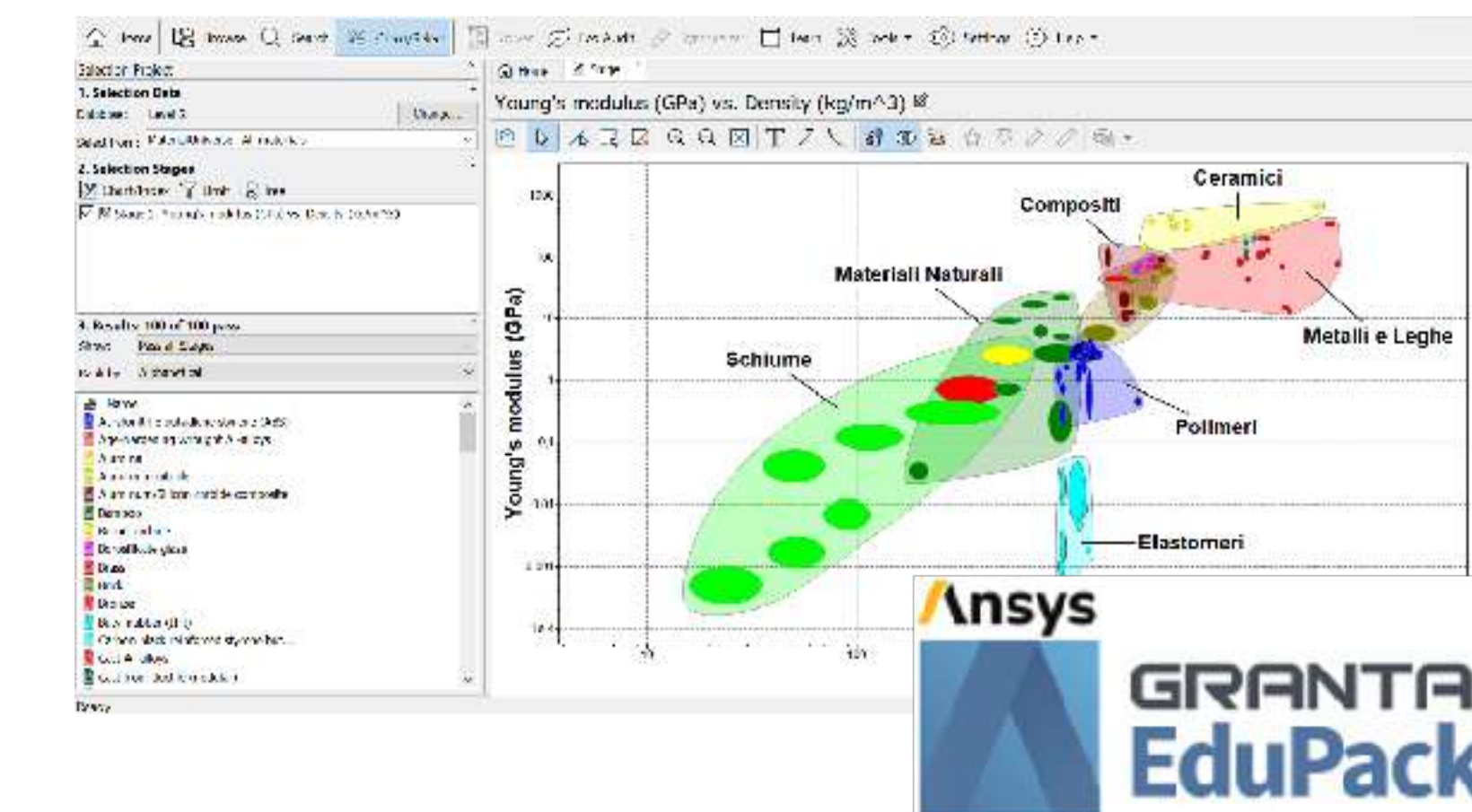
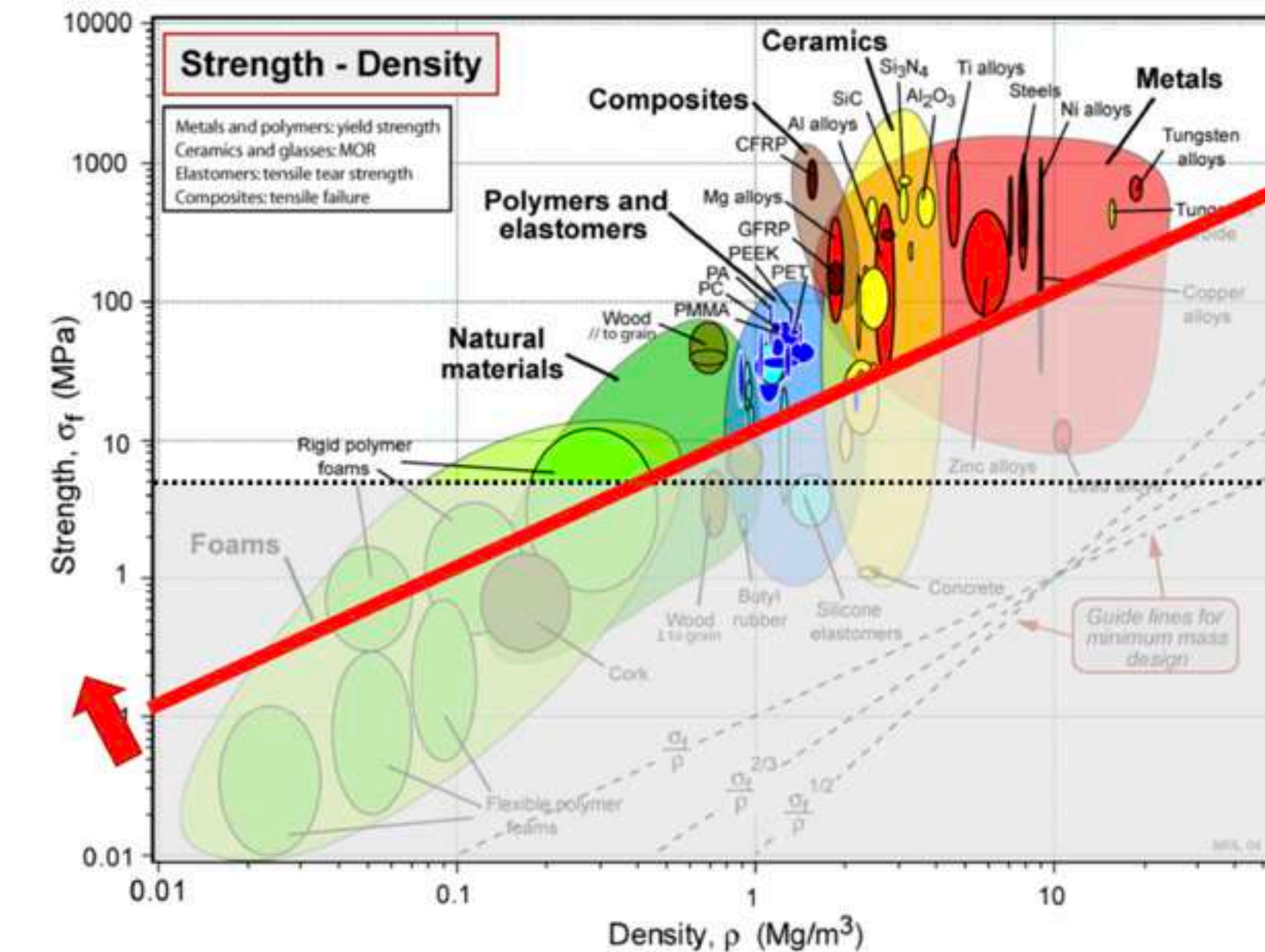
“[...] contenuto in legno o materiali di origine vegetale e/o animale, espresso in peso, non inferiore al 70%. [...] Nella realizzazione di scafo, coperta, terrazze appendici, albero e boma non sono ammessi i seguenti materiali: fibre aramidiche, fibre di carbonio, titanio.»

Domanda

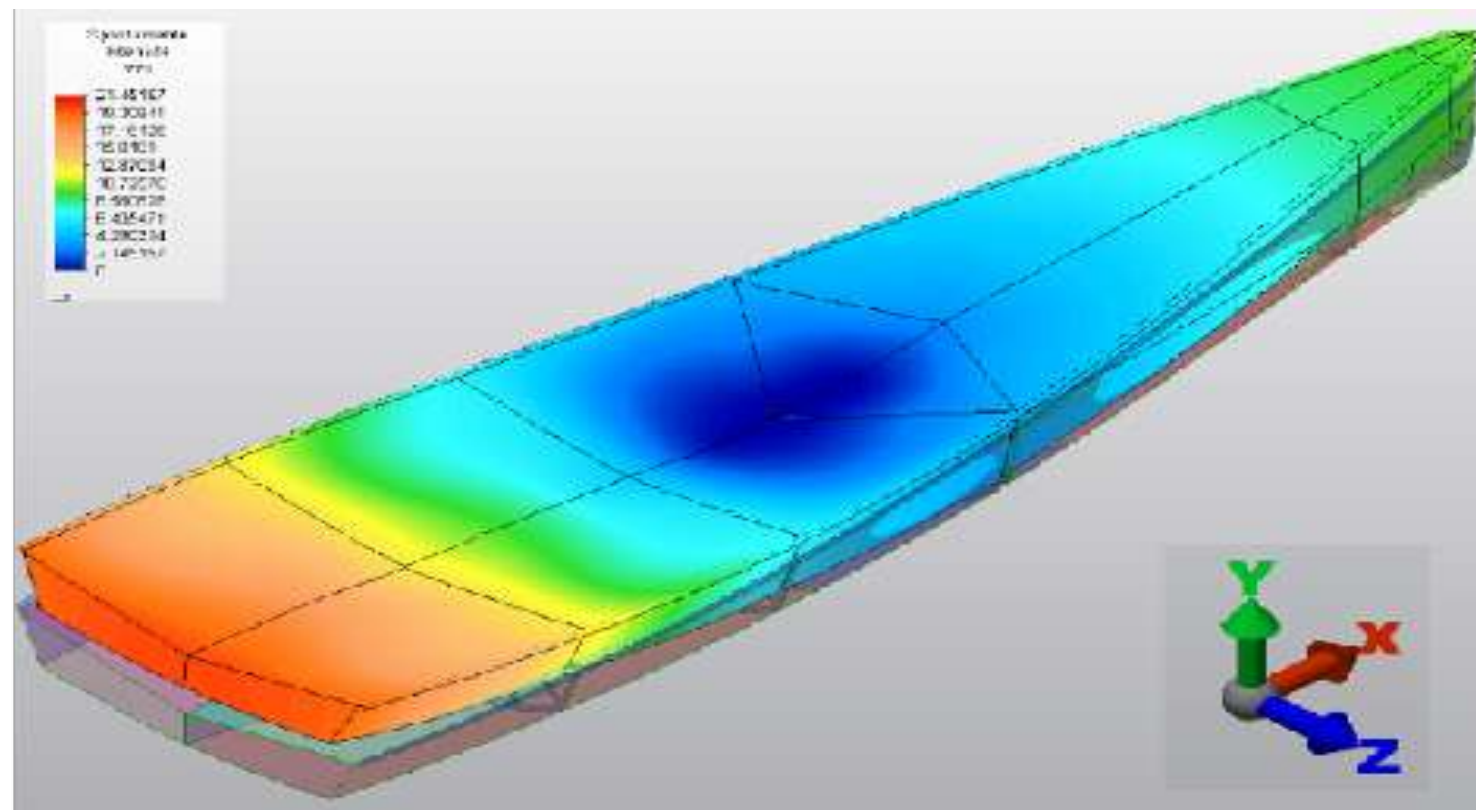


Prodotto

Materiali



Requisiti



“[...] contenuto in legno o materiali di origine vegetale e/o animale, espresso in peso, non inferiore al 70%. [...] Nella realizzazione di scafo, coperta, terrazze appendici, albero e boma non sono ammessi i seguenti materiali: fibre aramidiche, fibre di carbonio, titanio.»

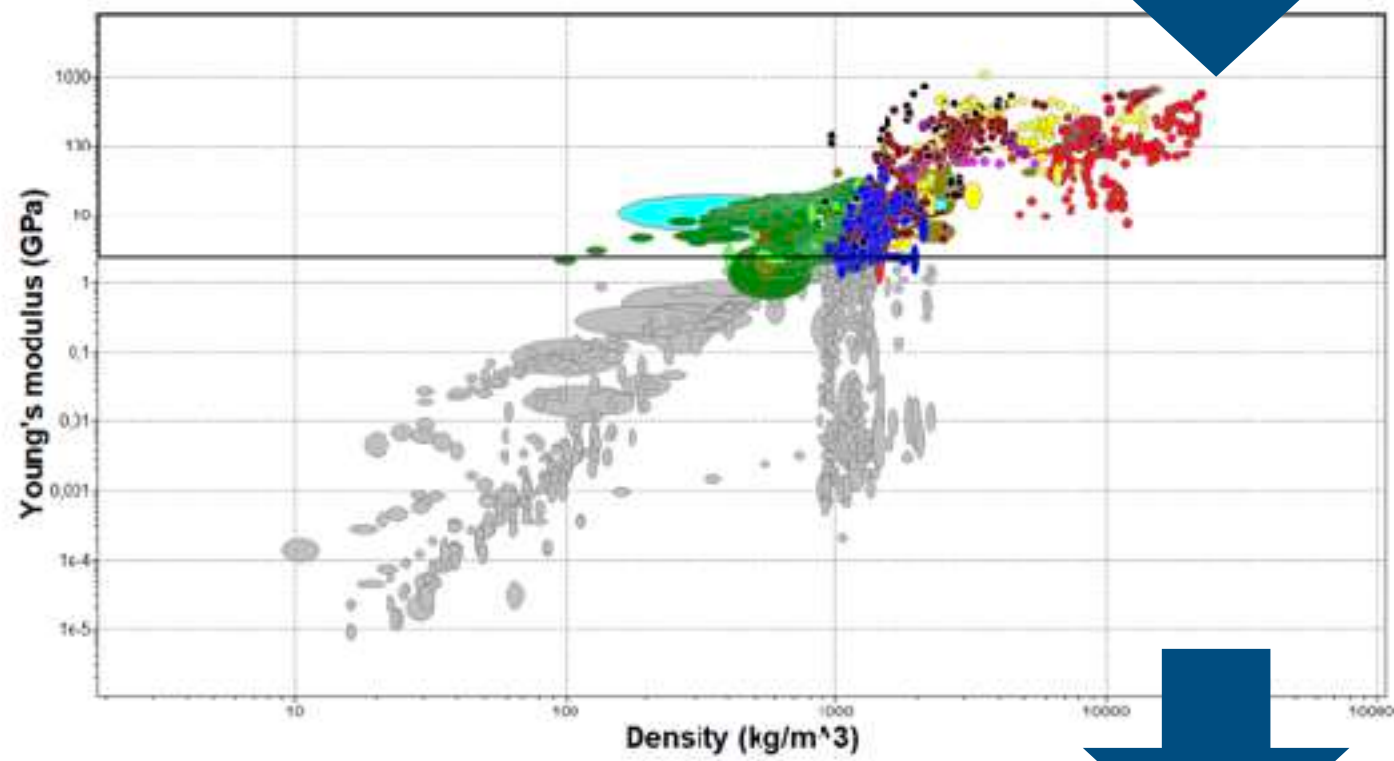
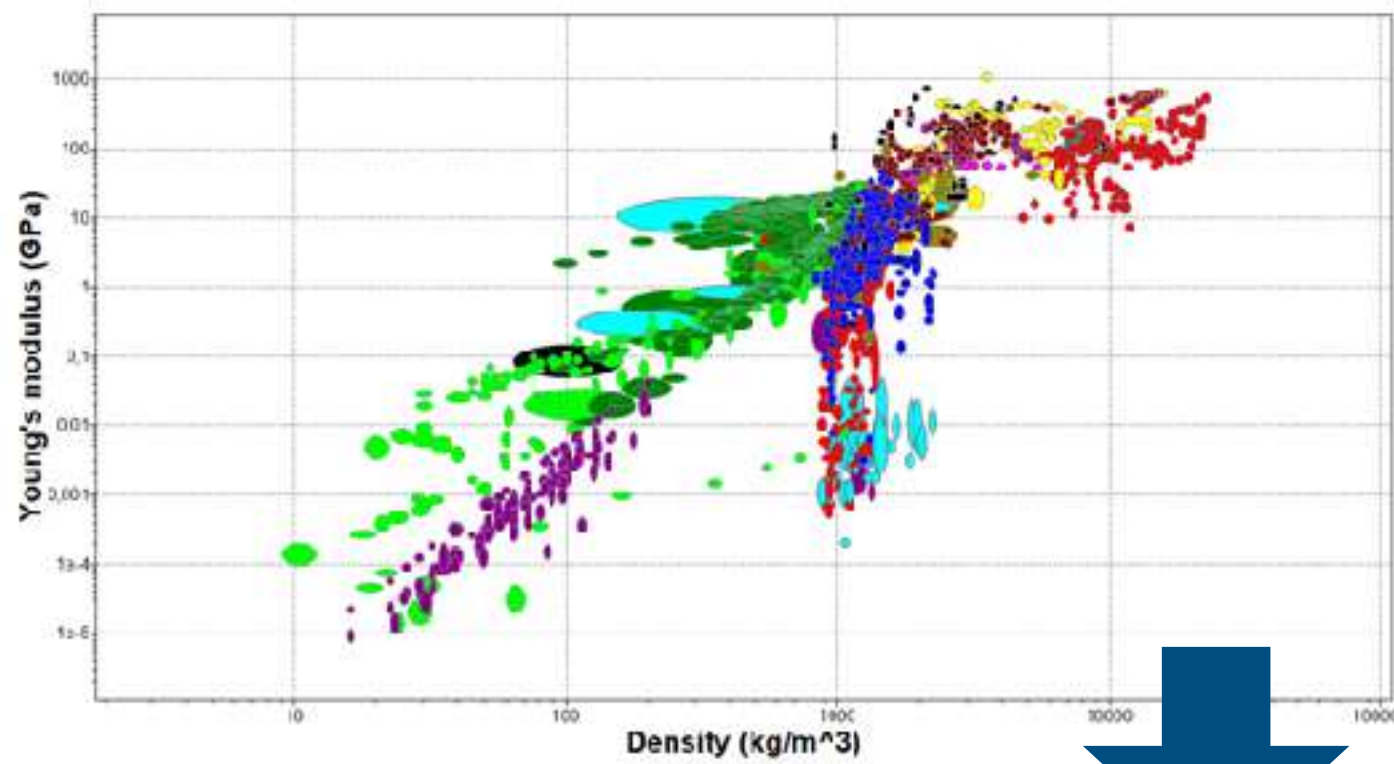
VINCOLI

OBIETTIVO

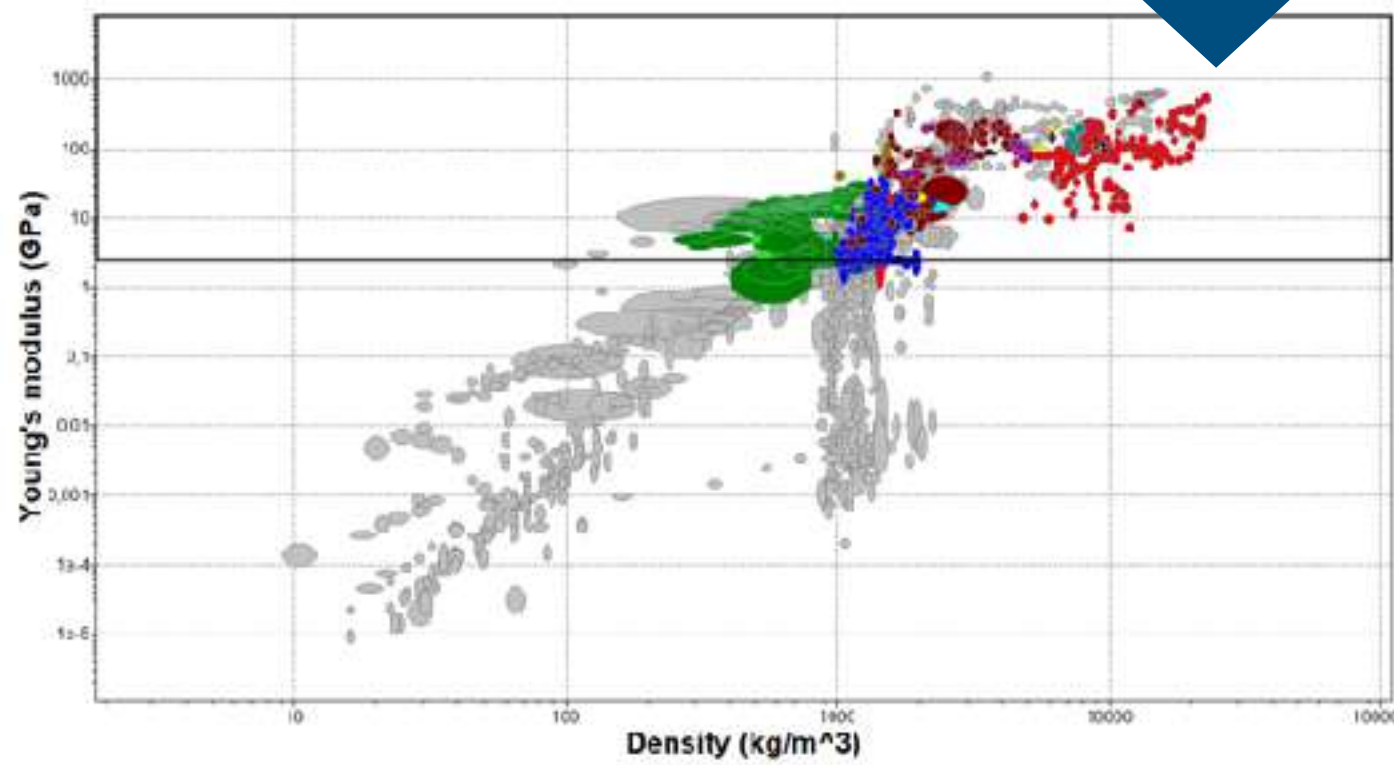
VARIABILI LIBERE

- Rigidezza a trazione
- Rigidezza a taglio
- Resistenza a buckling
- Resistenza agli impatti
- Sezione e dimensioni (L,h)
- *Contenuto in legno o materiali di origine animale/vegetale non inferiore al 70% (in peso)*
- *Non è ammesso l'utilizzo di fibre di carbonio, fibre aramidiche, fibre di basalto e titanio*
- Minimizzare la massa m
- Materiale
- Spessore (t) —→ Variabile tra [4 - 10] mm

La selezione del materiale dello scafo

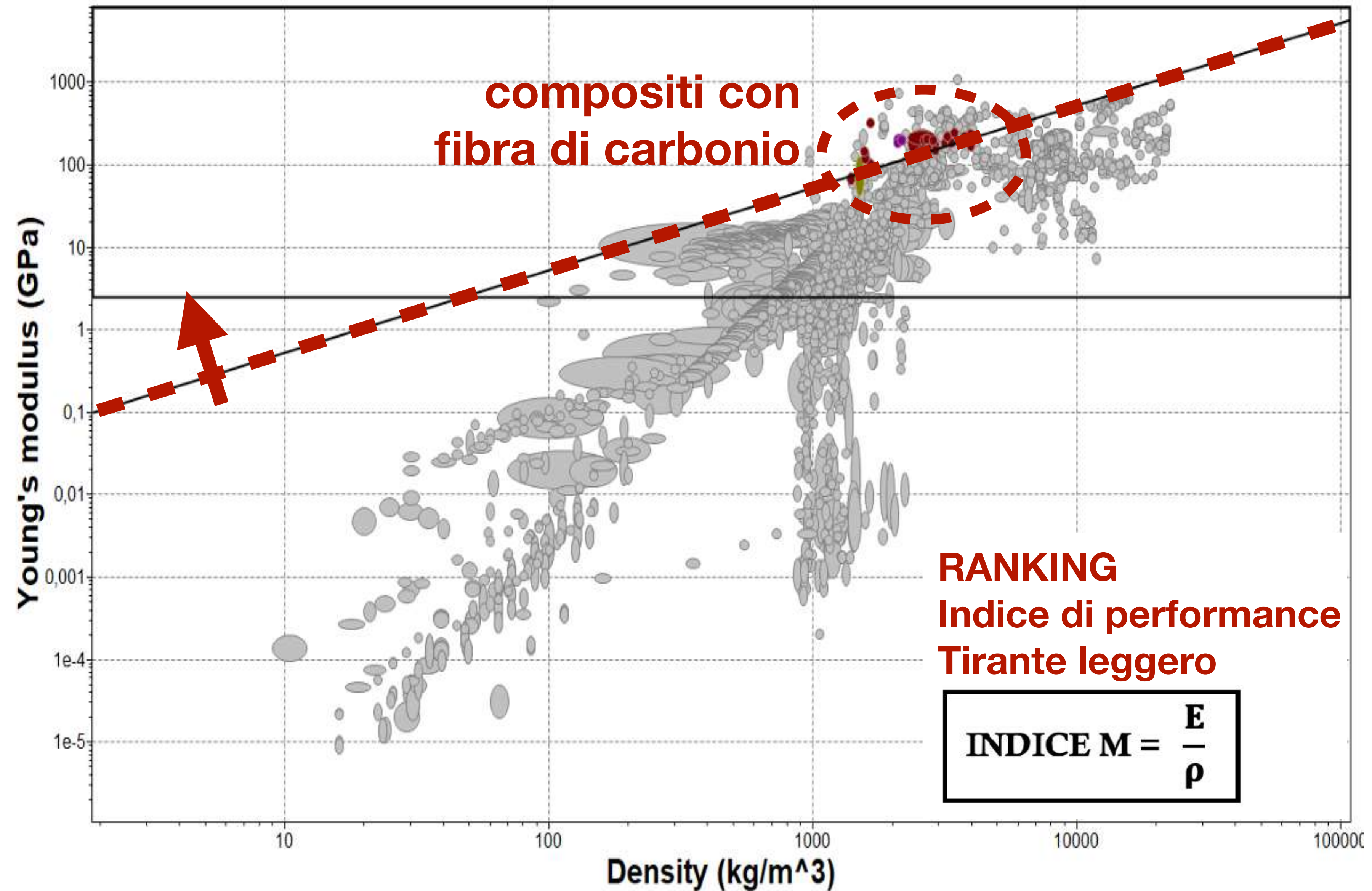
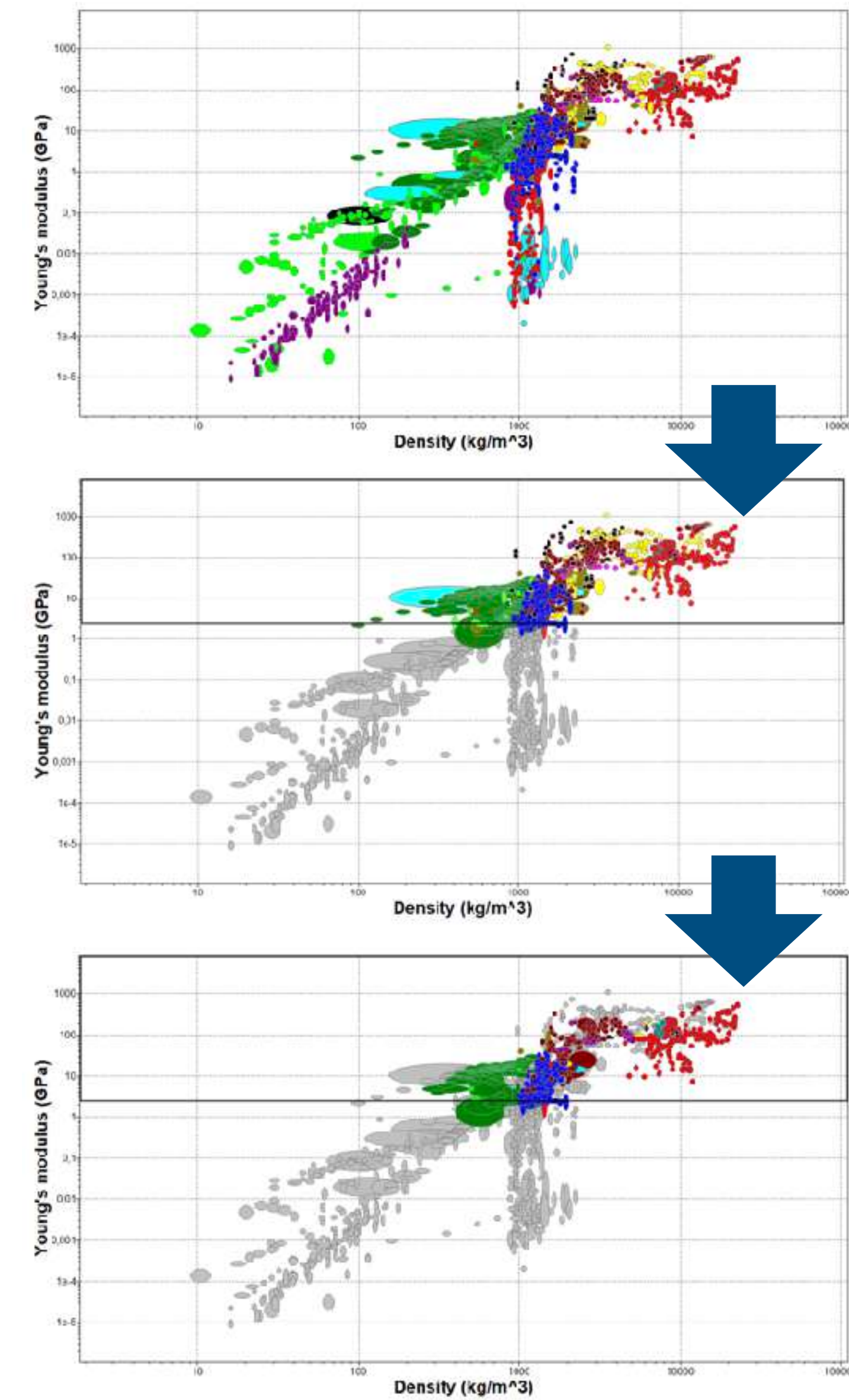


SCREENING
Vincolo/Limite
Rigidezza: $E > 2.5 \text{ GPa}$

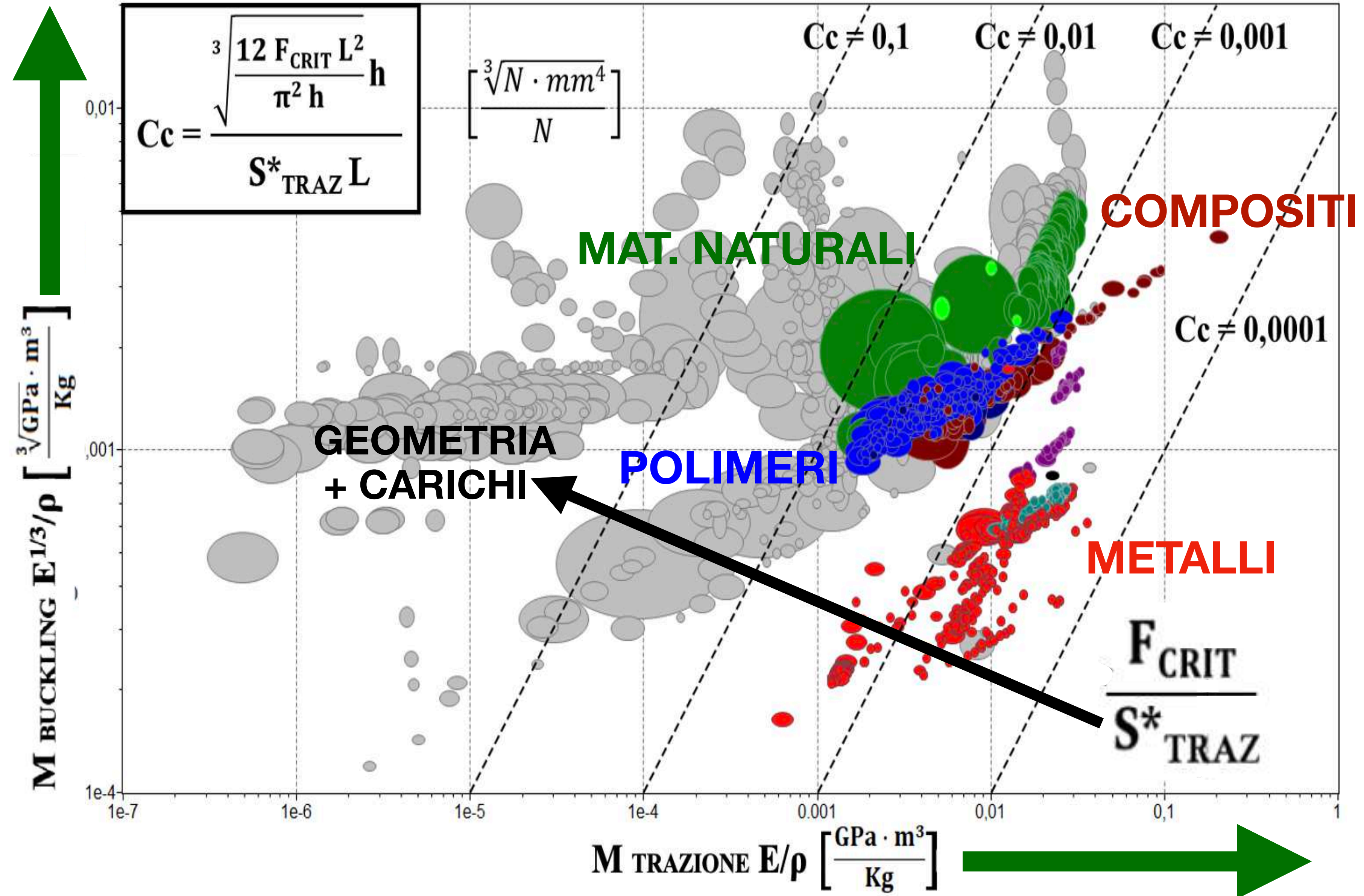
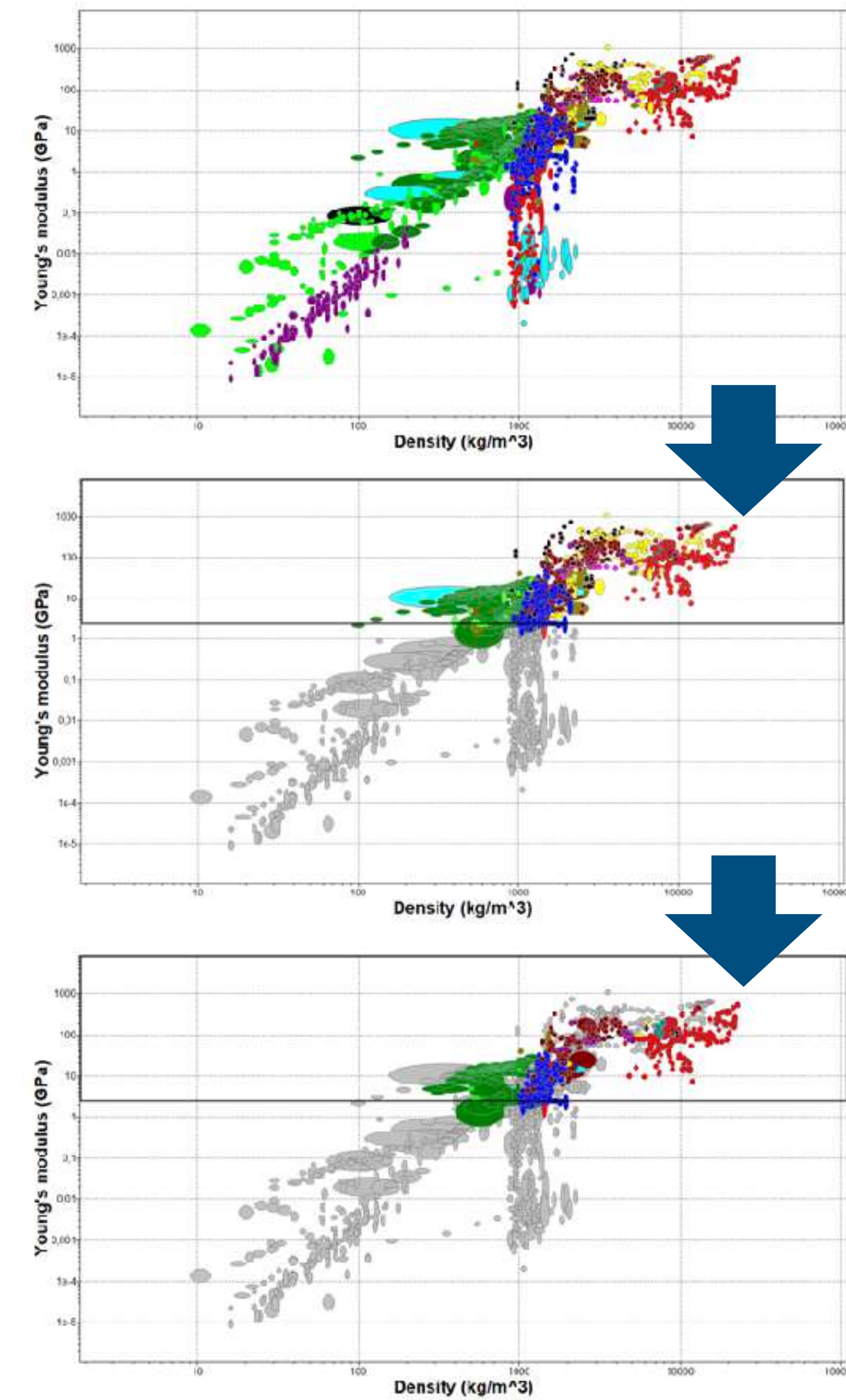


SCREENING
Vincolo/Limite
Resistenza all'impatto: $G_c > 1 \text{ kJ/m}^2$

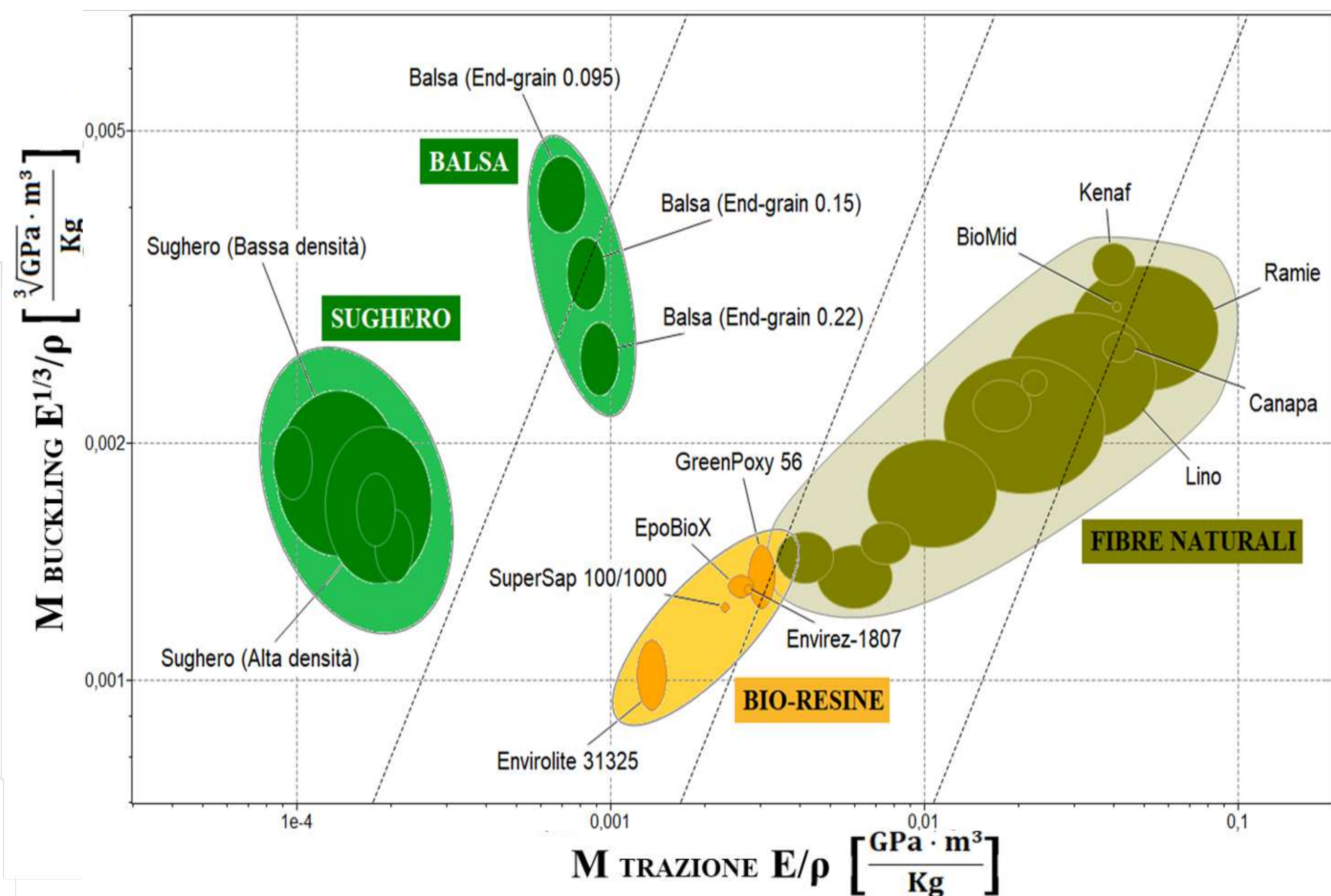
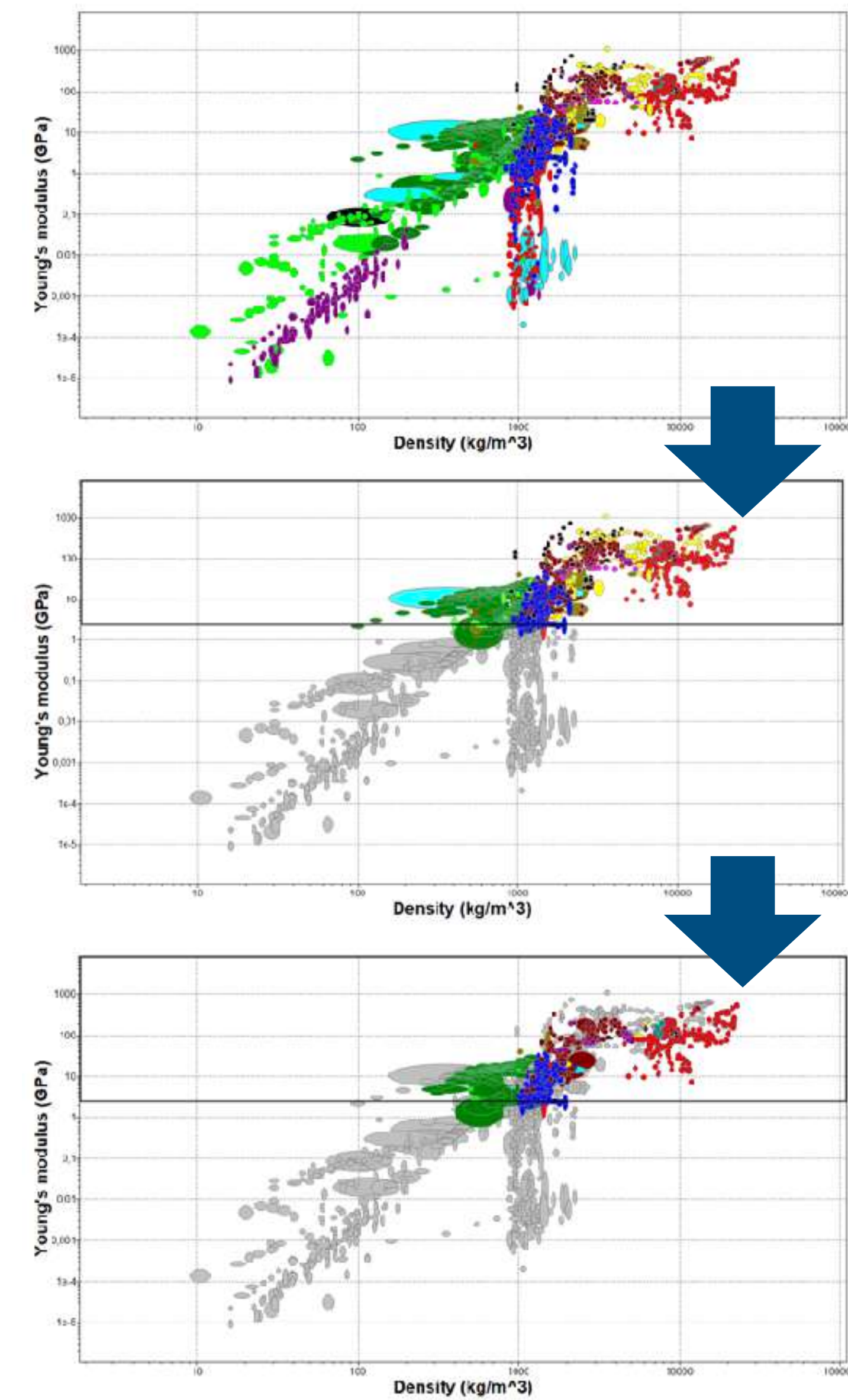
La selezione del materiale dello scafo



La selezione del materiale

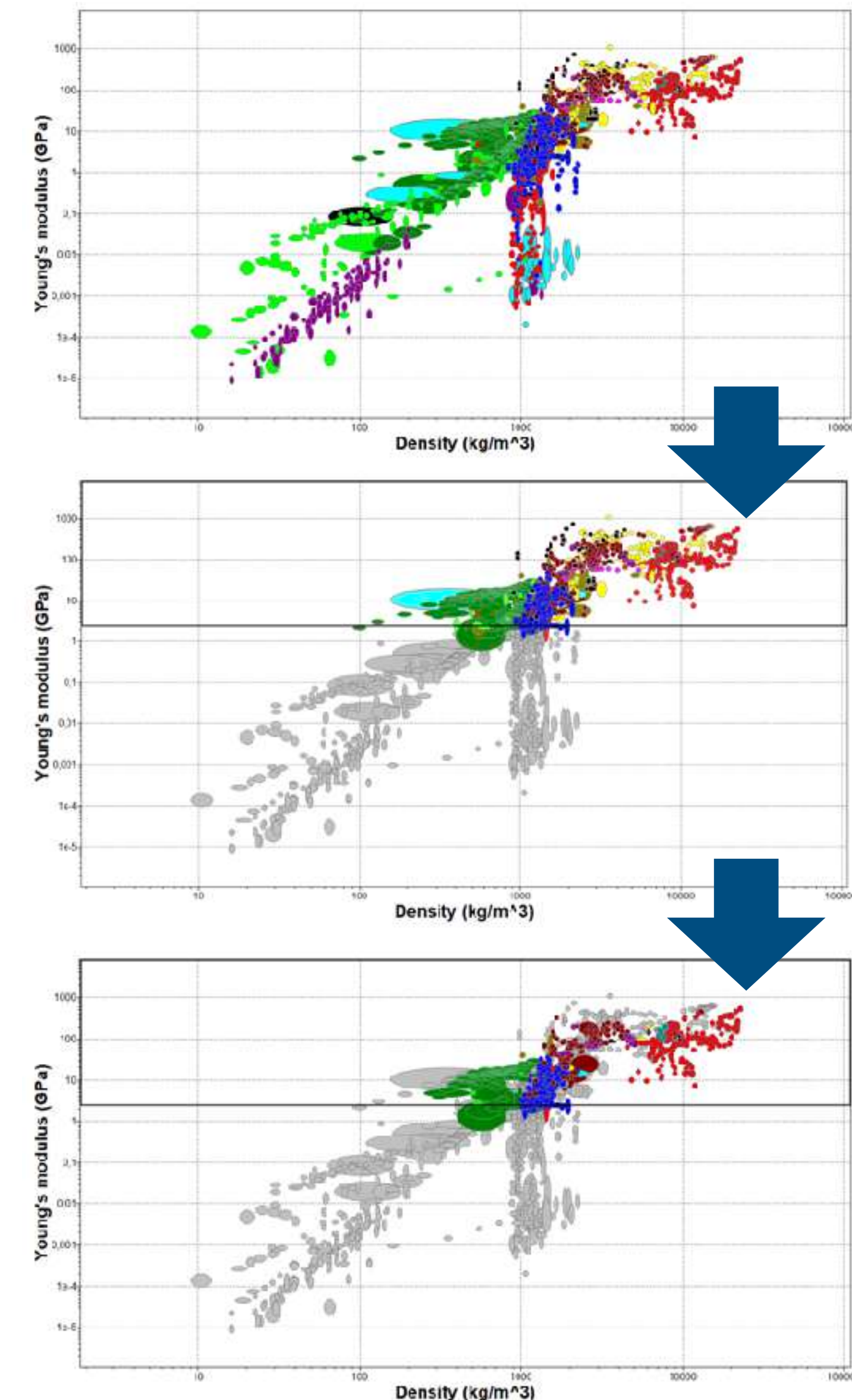


La selezione del materiale



La selezione del materiale

MATERIALI “BULK” → MATERIALI IBRIDI

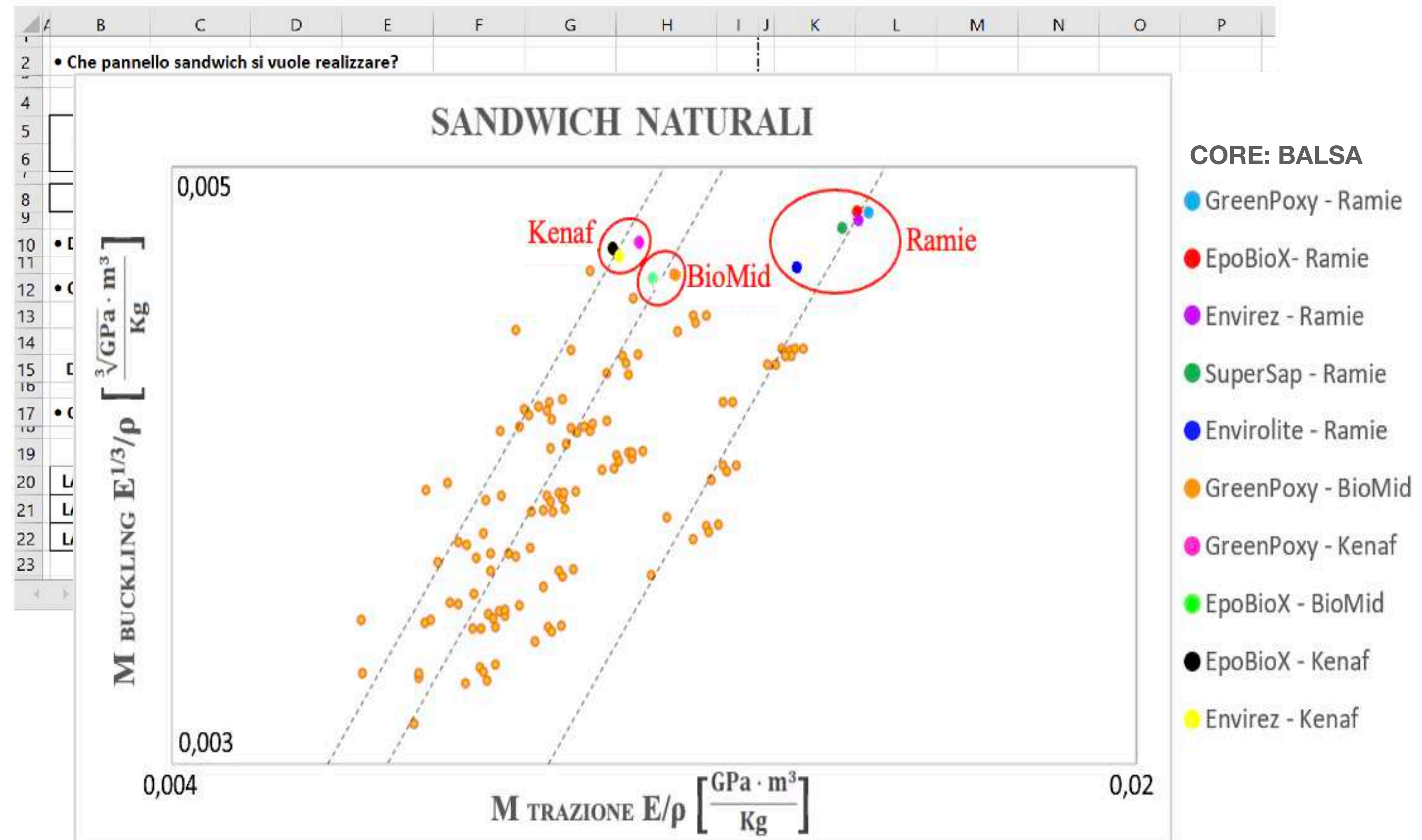
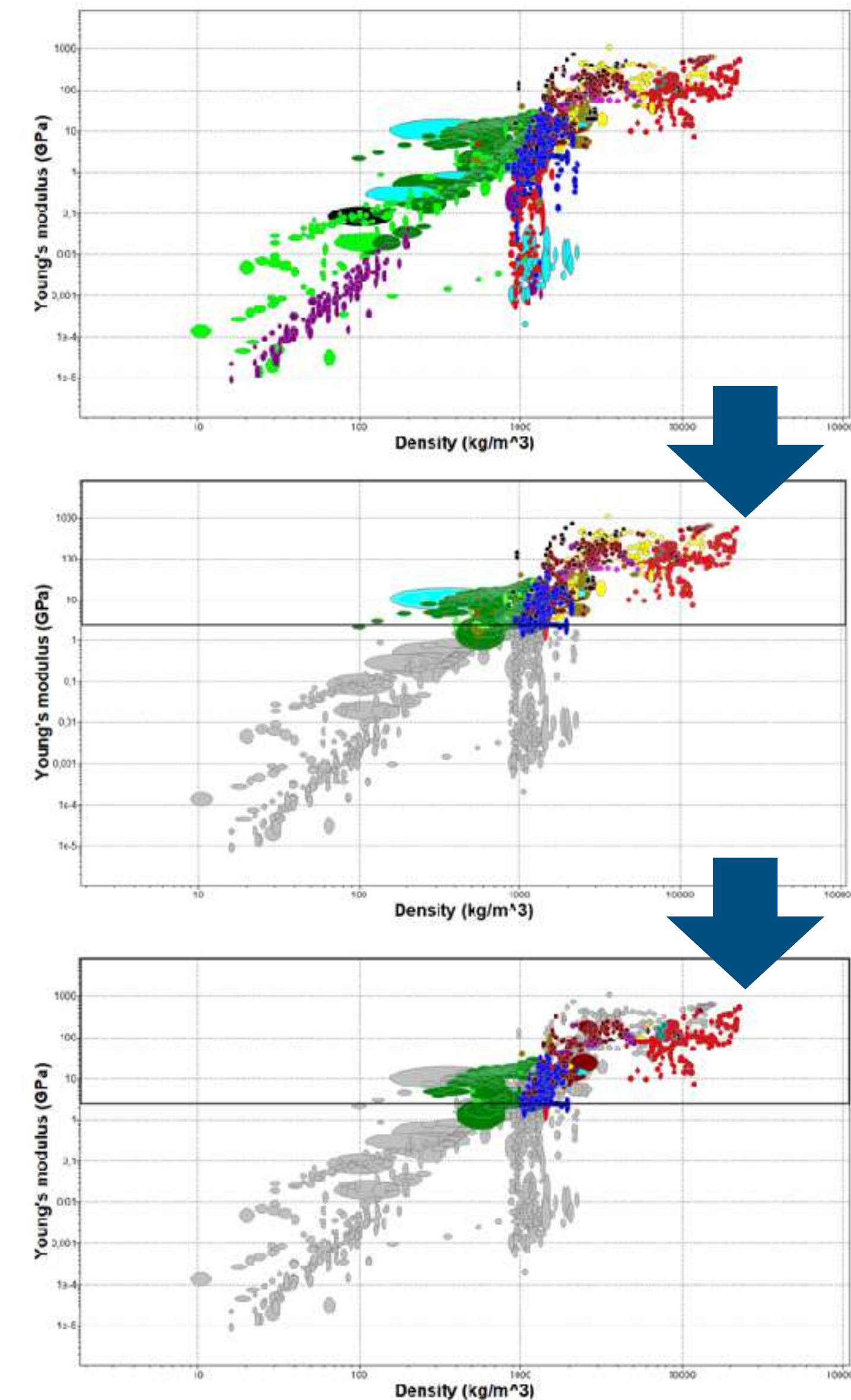


<

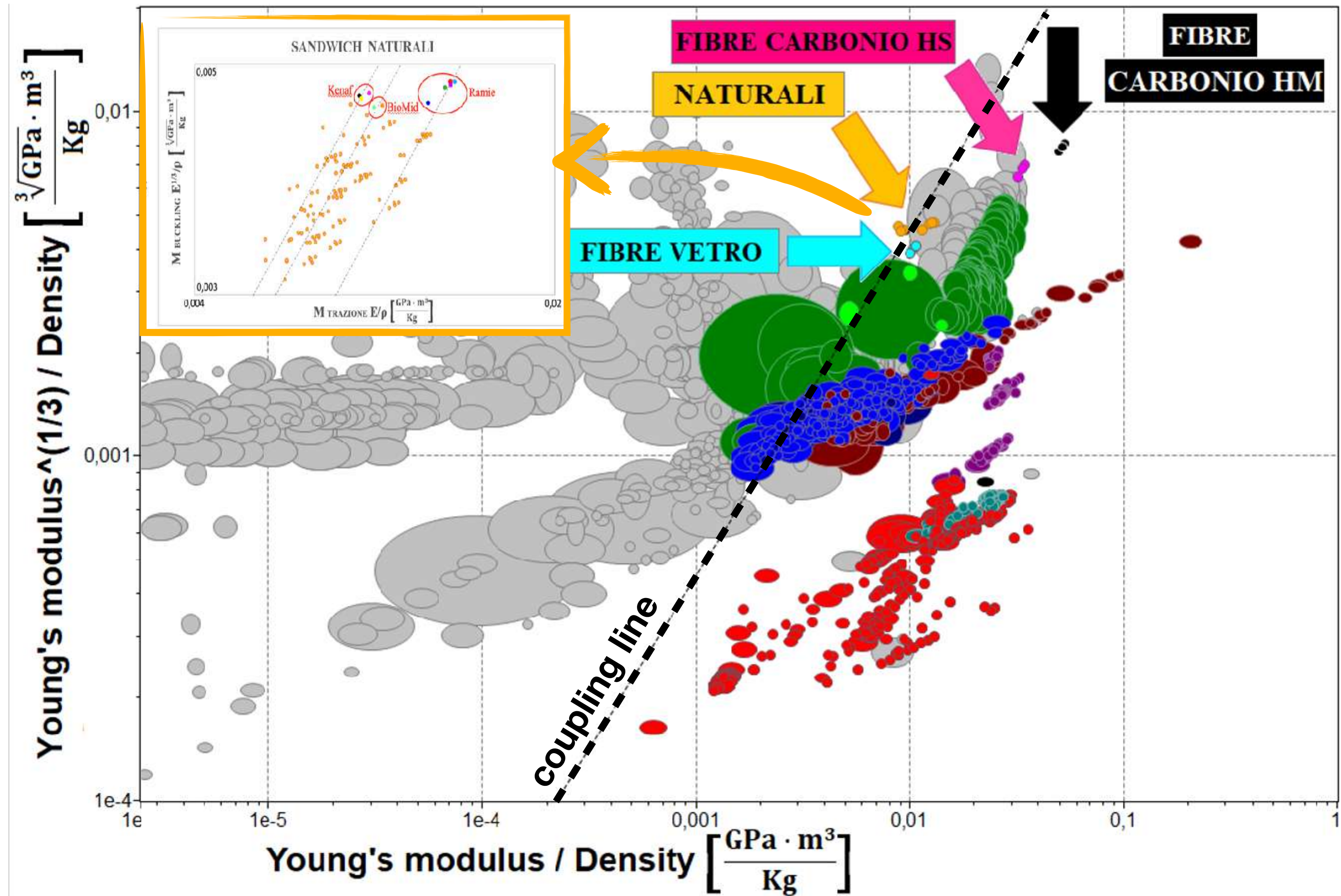
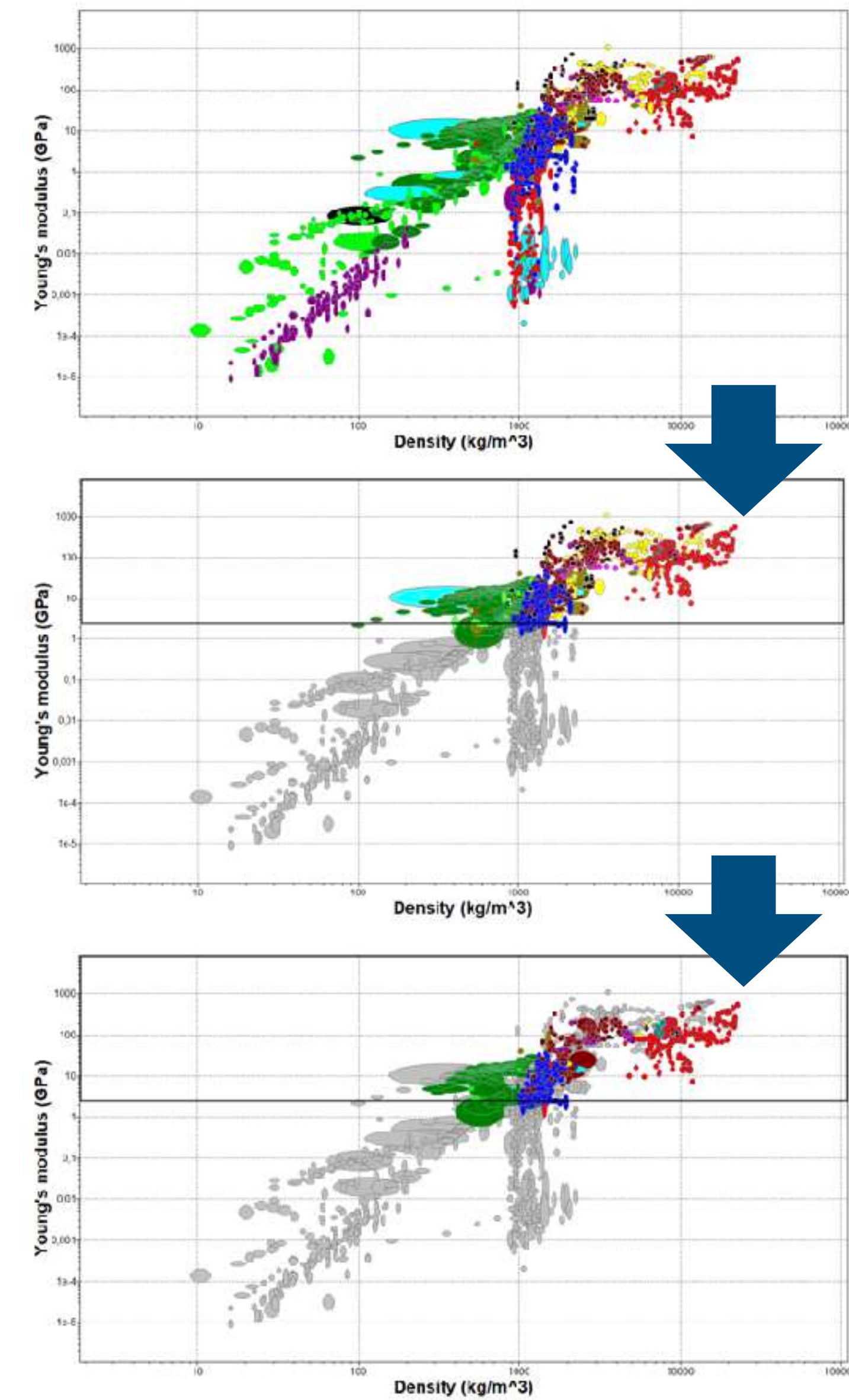
- PELLI: BIO-EPOXY + FIBRE NATURALI
- CORE: BALSA; SUGHERO

La selezione del materiale

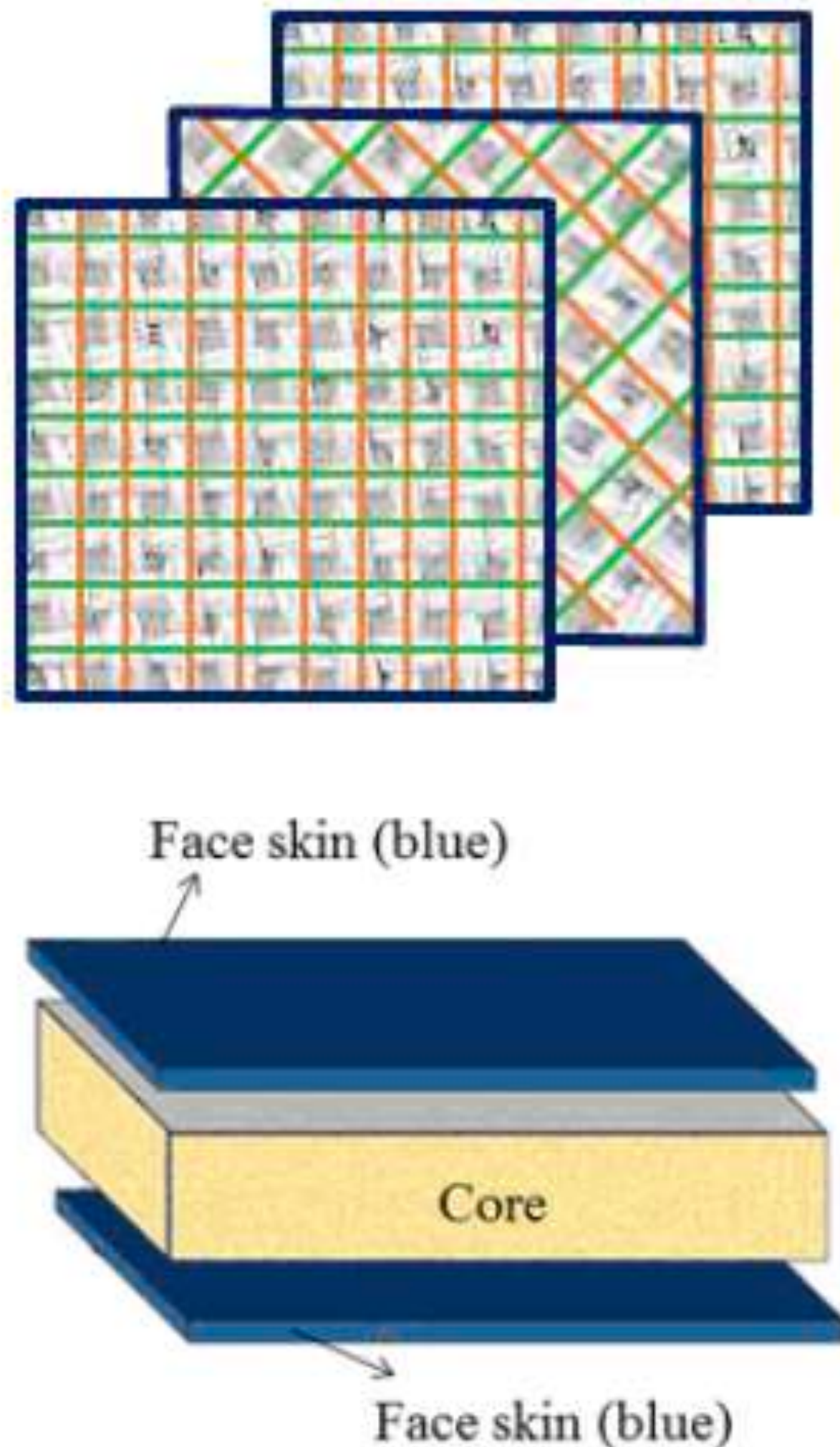
MATERIALI “BULK” → MATERIALI IBRIDI



La selezione del materiale



Combinazione di vari materiali in una struttura sandwich



MATRICE

SX10 EVO

Resina epossidica bicomponente, tradizionale

Reticolazione completa anche a T ambiente

$T_g = 55 \div 63^\circ\text{C}$ (dopo 7 giorni a 25°C)

$\rho = 1,1 \div 1,15 \text{ g/cm}^3$

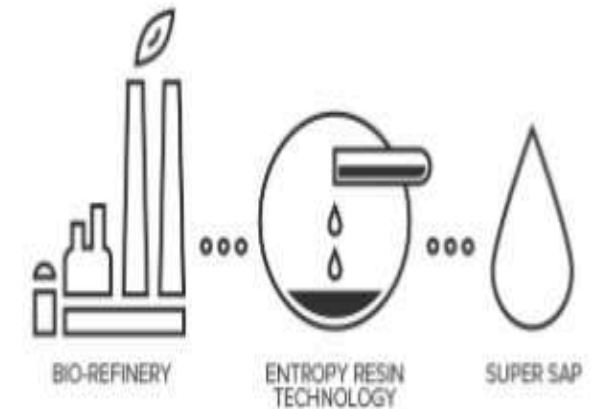
SUPER SAP

Resina epossidica bicomponente da scarti industriali (biomasse e biocarburanti)

Reticolazione completa anche a T ambiente

$T_g = 85^\circ\text{C}$

$\rho = 1,1 \text{ g/cm}^3$



FIBRE

LINO

Fibra naturale, sostenibilità della pianta di lino

Spessore medio della fibra 40 e i 80 μm

Moderata rigidità (7 GPa)

Fornita in tessuto con fibre biassiali



BIOMID

Formato dal 100% di cellulosa, biodegradabile e rinnovabile

Ottenibili le più sottili tra le fibre naturali (anche 10 μm)

Modulo elastico maggiore rispetto alle fibre di lino

Fornita in tessuto con fibre biassiali

Costo inferiore rispetto alle fibre di vetro e di lino



"CORE"

SUGHERO

Spessore medio fogli 8 mm

$\rho = 0,12 \text{ g/cm}^3$



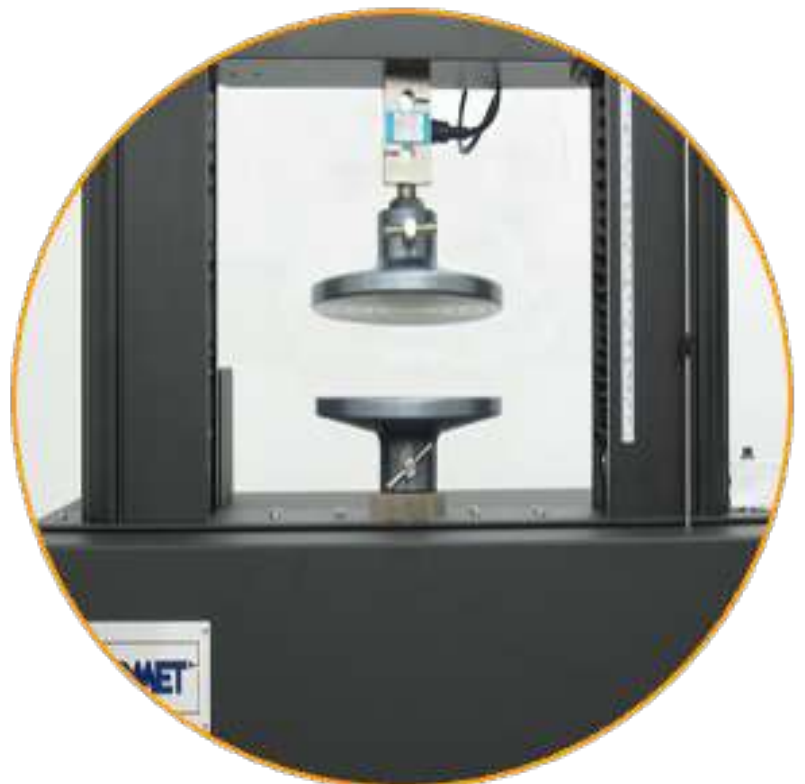
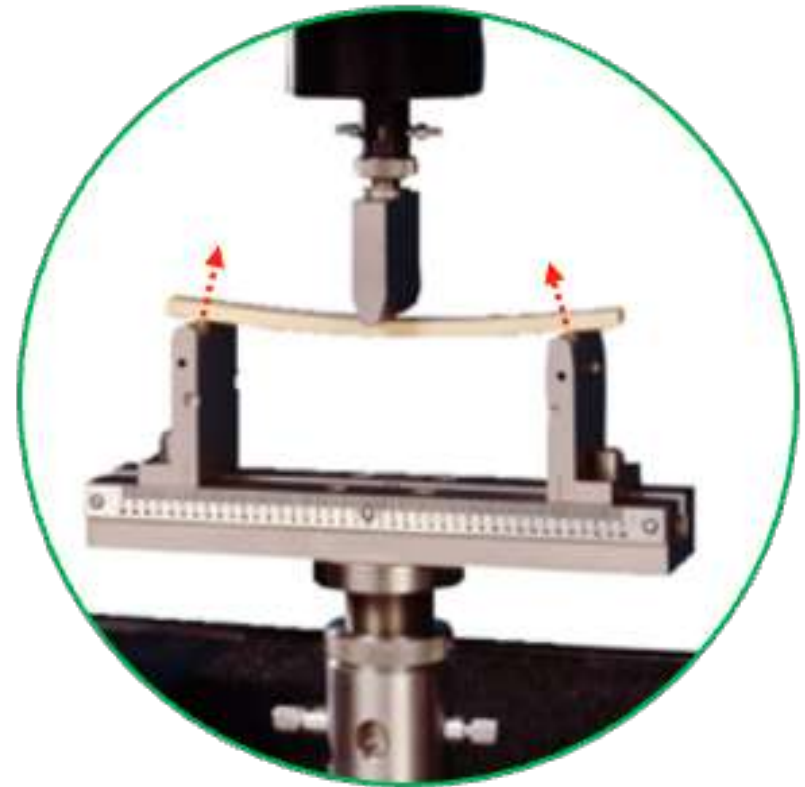
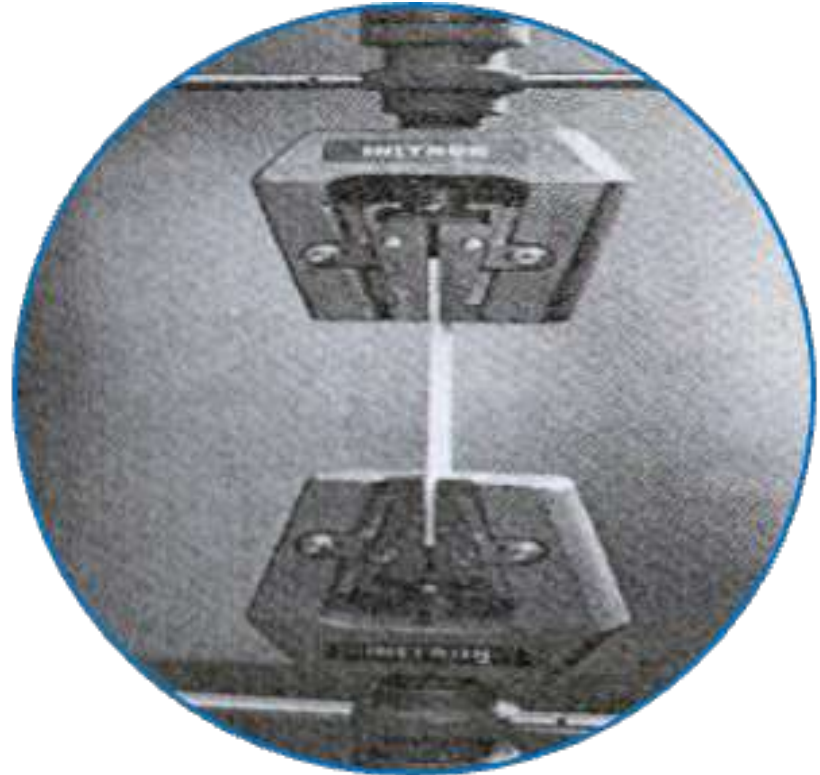
BALSA

Spessore medio fogli 6 mm

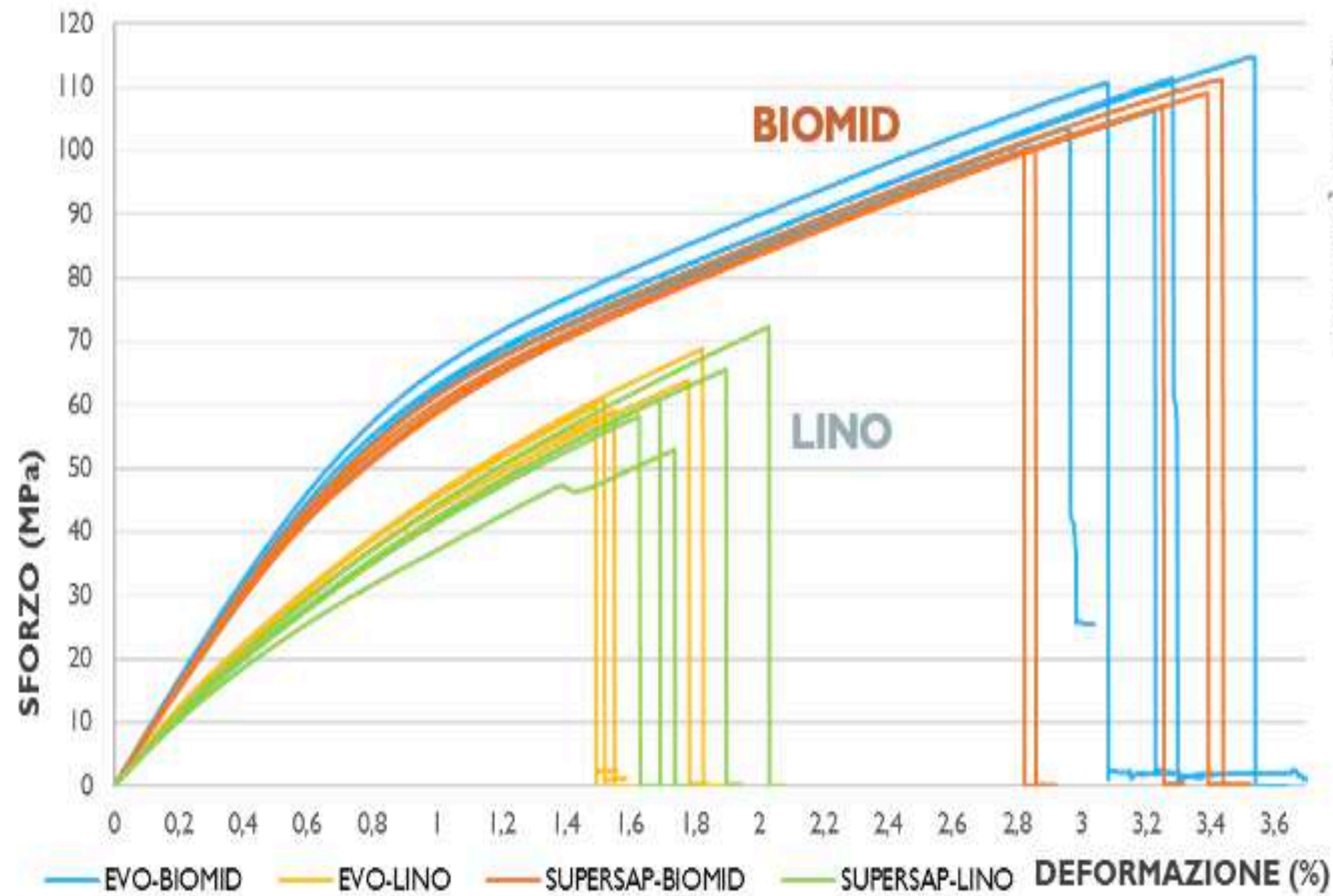
$\rho = 0,13 \text{ g/cm}^3$



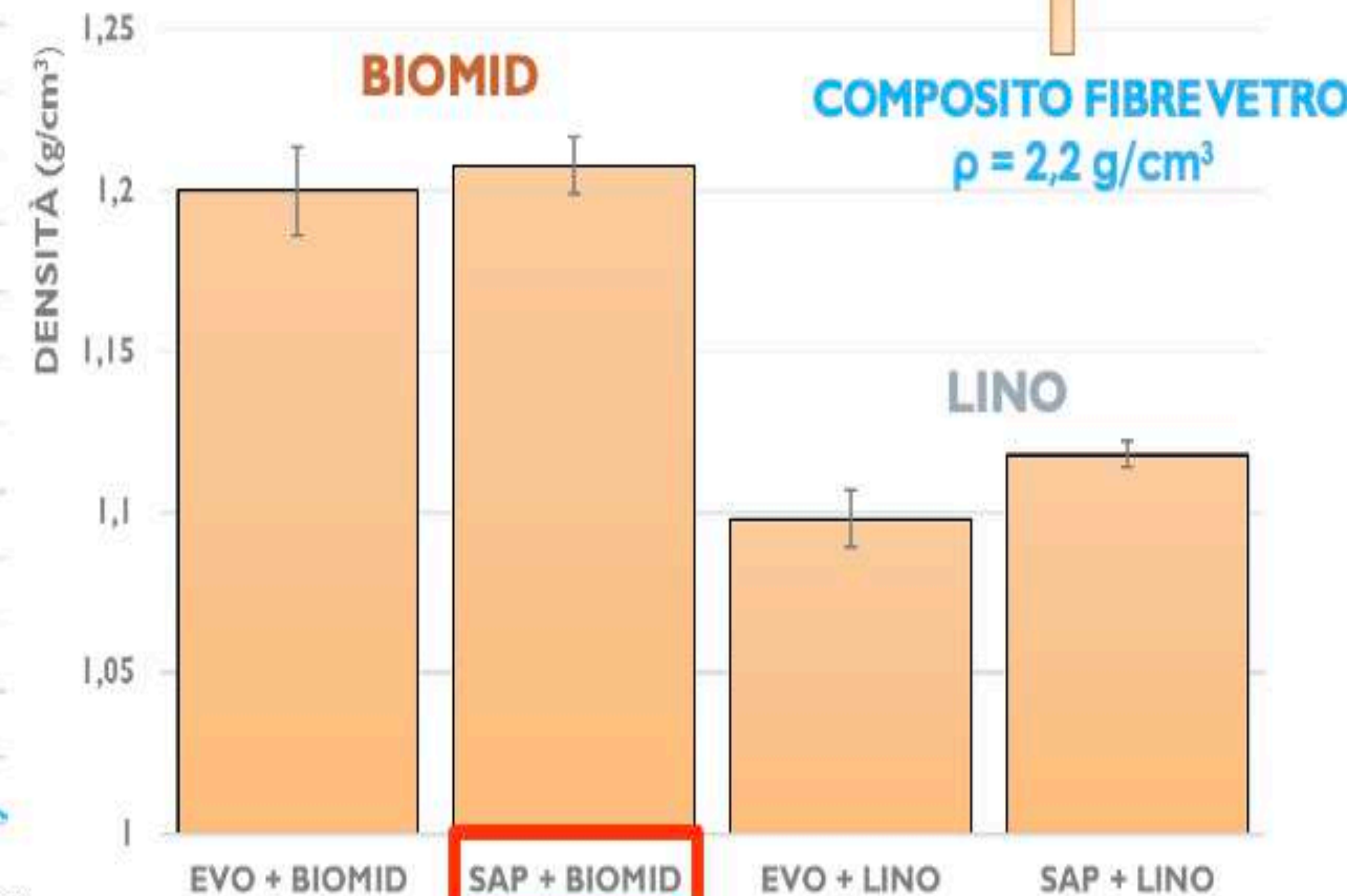
La caratterizzazione del sandwich



PRESTAZIONI MECCANICHE, in direzione fibra



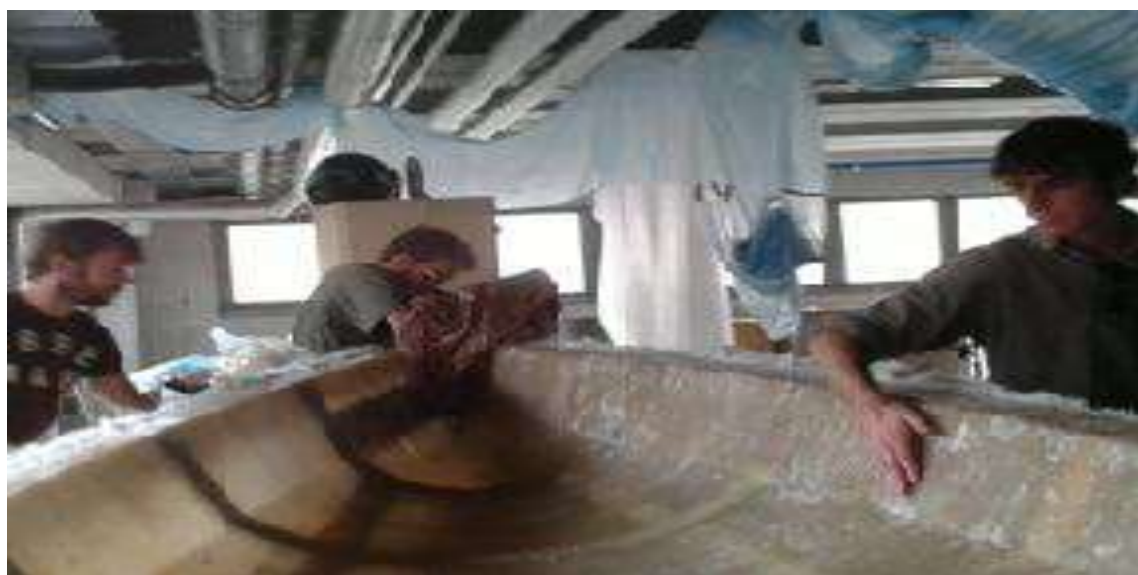
DENSITÀ



COMPOSITI	E (GPa)	$\sigma_{rottura}$ (MPa)	$\epsilon_{rottura}$ (%)
EVO BIOMID	9.3 ± 0.2	109 ± 4	3.2 ± 0.2
EVO LINO	8.2 ± 0.8	62 ± 4	1.6 ± 0.2
SUPERSAP BIOMID	11.3 ± 0.4	105 ± 5	3.2 ± 0.3
SUPERSAP LINO	7.2 ± 0.9	61 ± 6	1.8 ± 0.1

**SUPER SAP + BIOMID
+ BALSÀ**

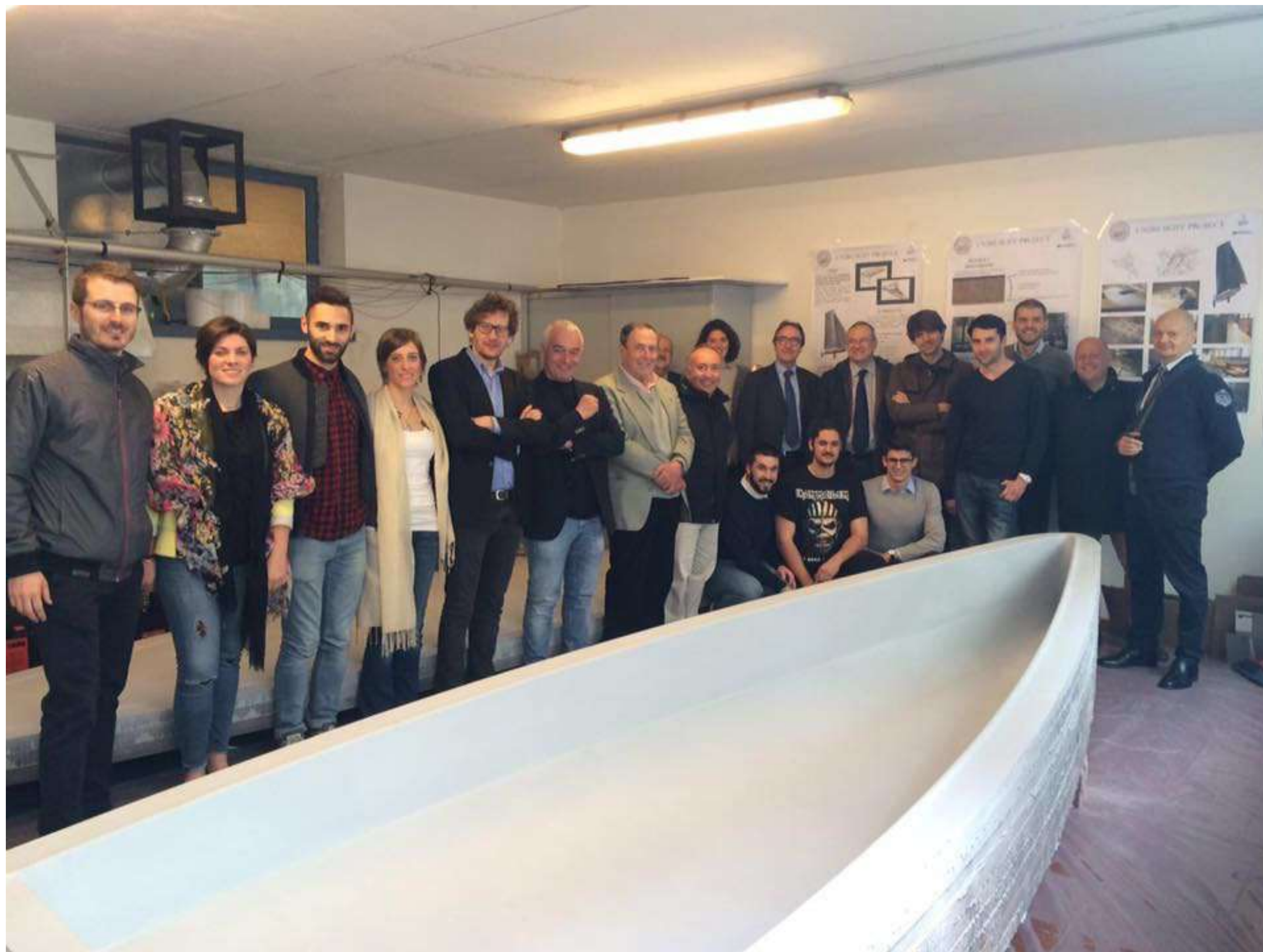
La realizzazione di "Pelèr"



"Pelèr" in azione!



Sailing



**Approcci e strumenti
per la selezione del
materiale
nel percorso
progettuale di un
manufatto:
il caso della barca
"Pelèr"**

**Grazie per
l'attenzione!**



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA