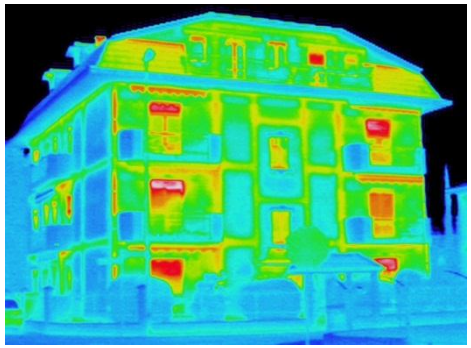
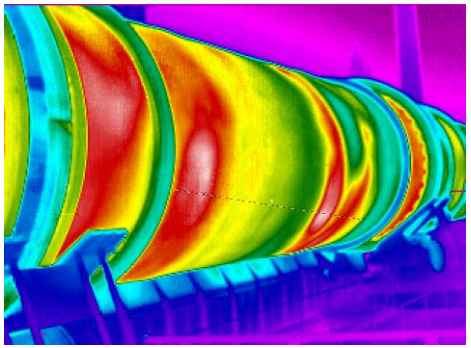
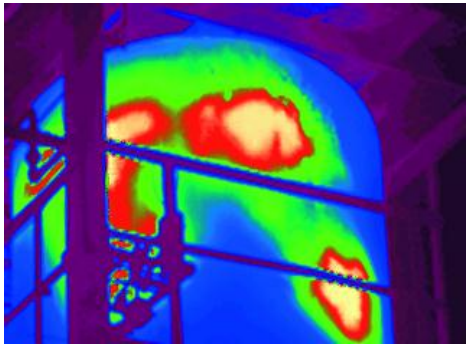






Diagnostica agli Infrarossi nel Settore Nautico

Ing. Roberto Callegari

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

TERMOGRAFIA

Ogni oggetto con temperatura maggiore dello zero assoluto emette energia sotto forma di onde elettromagnetiche; più è alta la temperatura dell'oggetto, maggiore è l'energia emessa.

Con il termine termografia si intende la rilevazione e la misura dell'energia termica emessa da un oggetto sotto forma di immagine termica a falsi colori per mezzo di appositi strumenti (telecamere sensibili all'infrarosso, dette termocamere) che permette di risalire alla sua temperatura.

Le termocamere visualizzano quello che l'occhio umano non può vedere e permettono precise misure di temperatura senza contatto.

Praticamente ogni componente elettrico o meccanico presenta anomalie di comportamento termico in prossimità di un guasto o malfunzionamento, per cui le termocamere possono fornire un ottimo strumento diagnostico in varie applicazioni.

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

COS'È UNA TERMOCAMERA?

Una termocamera è un dispositivo che visualizza l'energia infrarossa (calore) non a contatto in una determinata banda di frequenza (o lunghezza d'onda) e la converte in un segnale elettrico.

Questo segnale viene poi processato, per produrre un'immagine su un monitor ed ottenere una misura di temperatura.

PERCHÉ MISURARE LA TEMPERATURA?

Spesso la sola visualizzazione dell'immagine termica non è sufficiente ai fini diagnostici.

Le termocamere producono immagini termiche radiometriche che contengono 19.200 pixel (160x120), 76.800 pixel (320x240) o 307.200 pixel (640x480)

Ogni pixel rappresenta una misura di temperatura indipendente

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

CORPO NERO IDEALE

Qualsiasi corpo con una temperatura superiore allo zero assoluto emette radiazioni, in quantità e modalità diverse in funzione della temperatura.

Un corpo capace:

1. di assorbire completamente qualsiasi radiazione che lo investe;
2. di emettere la massima quantità possibile di radiazione per quella temperatura;

è detto corpo nero.

Il corpo nero è un emettitore/assorbitore ideale di energia, ed è una astrazione utilizzata per definire le leggi fisiche.

I corpi reali non si comportano come il corpo nero, ma il loro comportamento in determinate condizioni può venire approssimato al comportamento del corpo nero; per questo è stato introdotto il coefficiente di emissività ε.

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

EMISSIVITÀ

- L' emissività di un corpo (ε) è la sua capacità di irradiare energia termica, in relazione alla sua temperatura reale.
- È rappresentata da un numero compreso tra 0 e 1, e indica l'efficienza di emissione del corpo reale con riferimento all'emissione del corpo nero
- Solo il corpo nero ha $\varepsilon = 1$
- Il corpo nero è un oggetto ideale e non esiste in realtà; tutti gli oggetti in natura avranno quindi $\varepsilon < 1$

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

EMISSIVITÀ E MATERIALI

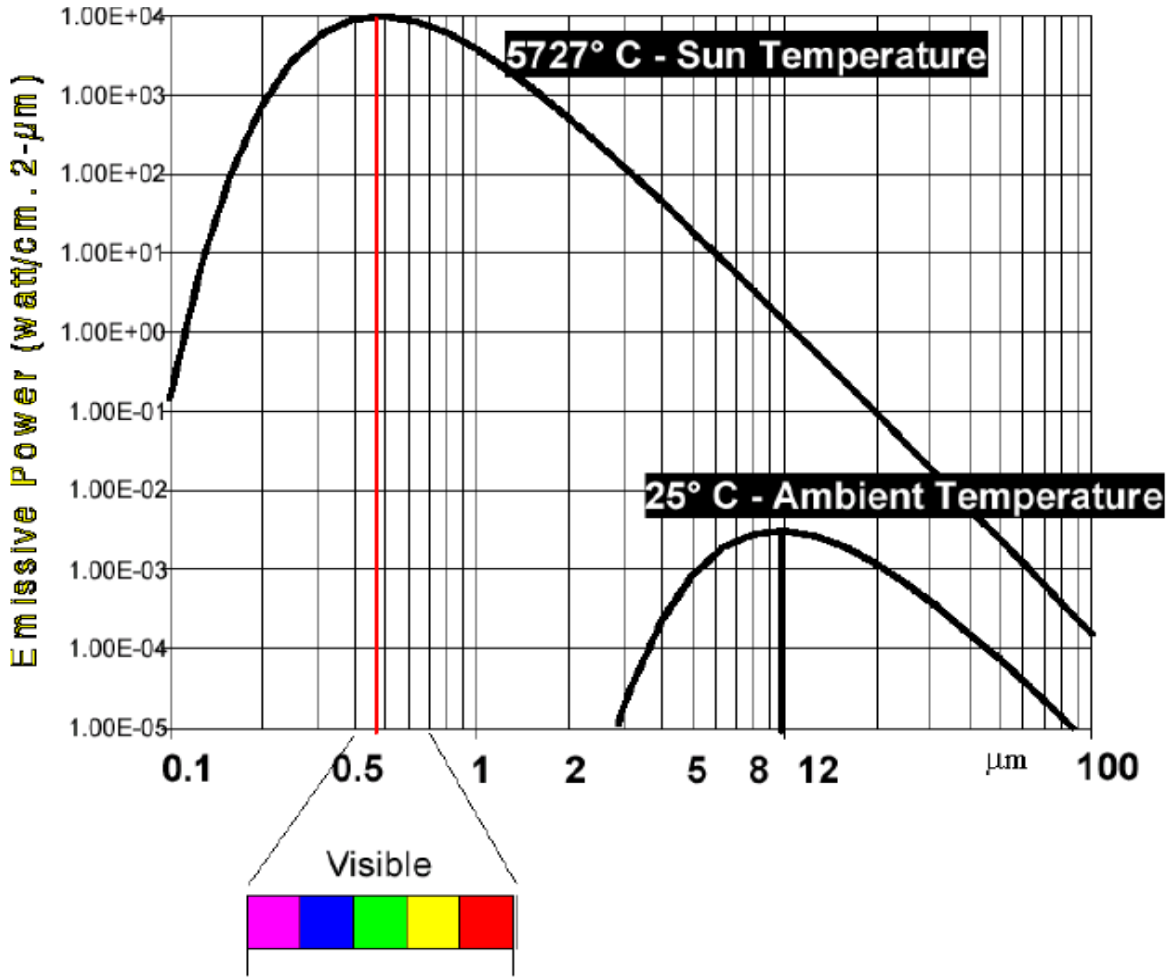
Nella tabella qui sotto viene riportato il valore di ε di alcuni materiali di utilizzo comune

METALLI	Emissività
acciaio laminato a freddo	0,7 ÷ 0,9
acciaio lamiera molata	0,4 ÷ 0,6
acciaio lucido	0,1
acciaio ossidato	0,7 ÷ 0,9
acciaio inox lucido	0,16
acciaio inox ossidato	0,7 ÷ 0,8
alluminio lucido	0,05
alluminio ossidato	0,2 ÷ 0,4
ghisa ossidata	0,6 ÷ 0,95
ghisa non ossidata	0,2
inconel ossidato	0,7 ÷ 0,95
inconel sabbiato	0,3 ÷ 0,6
molibdeno ossidato	0,2 ÷ 0,6
nickel lucido	0,05
nickel ossidato	0,2 ÷ 0,5
ottone brunito	0,3
ottone ossidato	0,5
rame lucido	0,05
rame ossidato	0,4 ÷ 0,8
titanio ossidato	0,5 ÷ 0,6

NON METALLI	emissività
acqua	0,93
argilla	0,95
asfalto	0,95
basalto	0,7
calcare	0,98
carta	0,95
cemento	0,95
ceramica	0,95
gesso	0,8 ÷ 0,95
ghiaccio	0,98
ghiaia	0,95
gomma	0,95
legno	0,9 ÷ 0,95
neve	0,9
plastica opaca	0,95
sabbia	0,9
suolo	0,9 ÷ 0,98
tessuto	0,95
superfici verniciate (escluso alluminio)	0,8 ÷ 0,95
vetro	0,85

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

EMISSIONI DEL CORPO NERO



E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

RADIAZIONE INCIDENTE SULLA TERMOCAMERA

La radiazione percepita dal sensore è costituita da tre componenti di cui una sola dipende dalla temperatura del corpo:

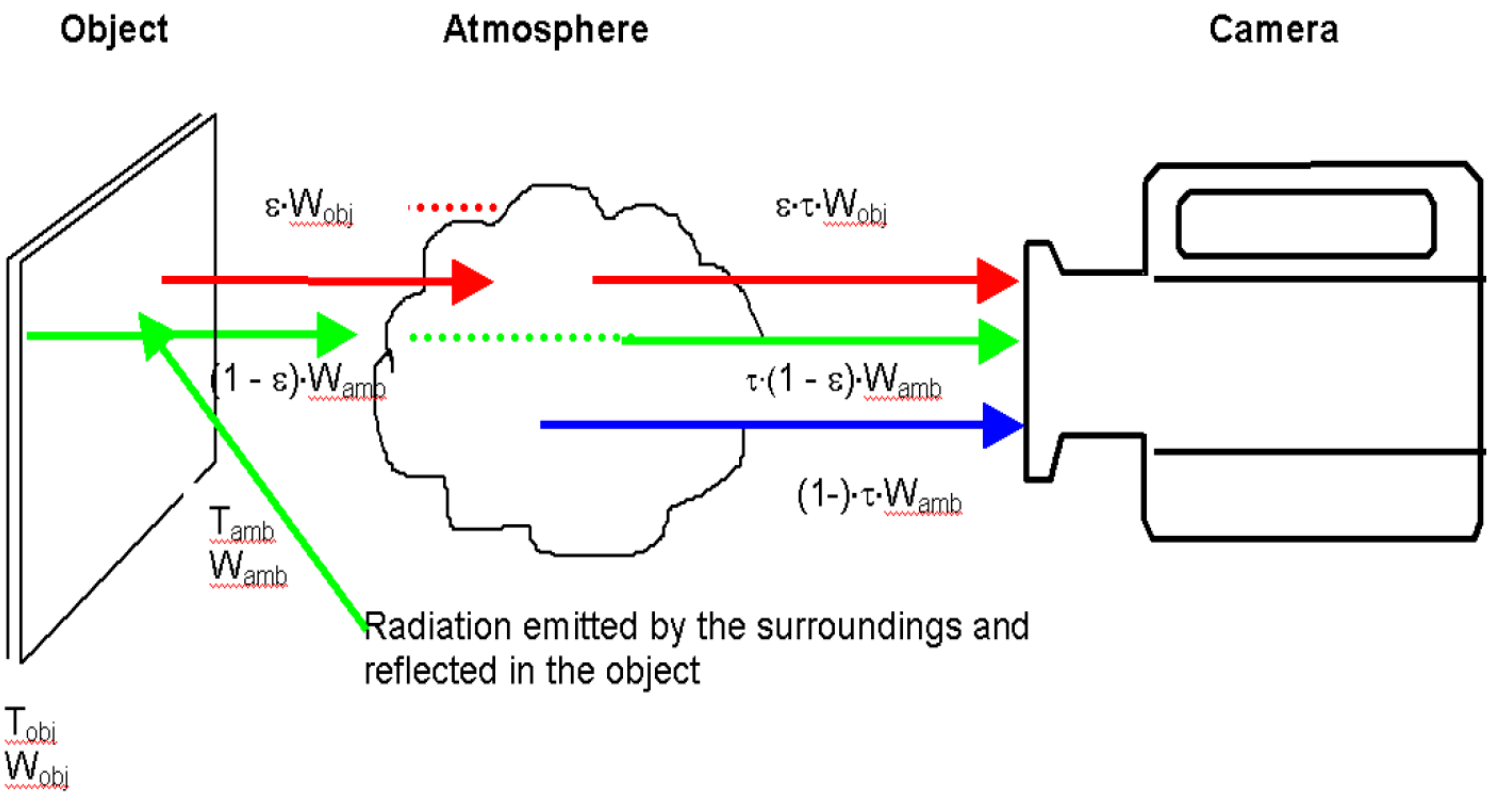
radiazione emessa dal corpo
tale radiazione giunge al sensore filtrata dall'atmosfera

radiazione riflessa dal corpo
un corpo generico riflette una parte della radiazione incidente su di esso a sua volta filtrata dall'atmosfera

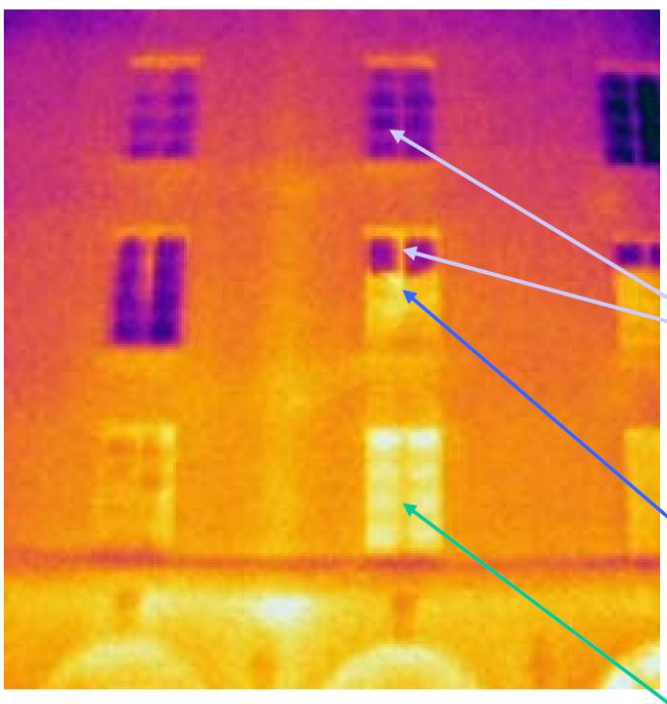
radiazione emessa dall'atmosfera
l'atmosfera stessa irradia in campo IR e attenua

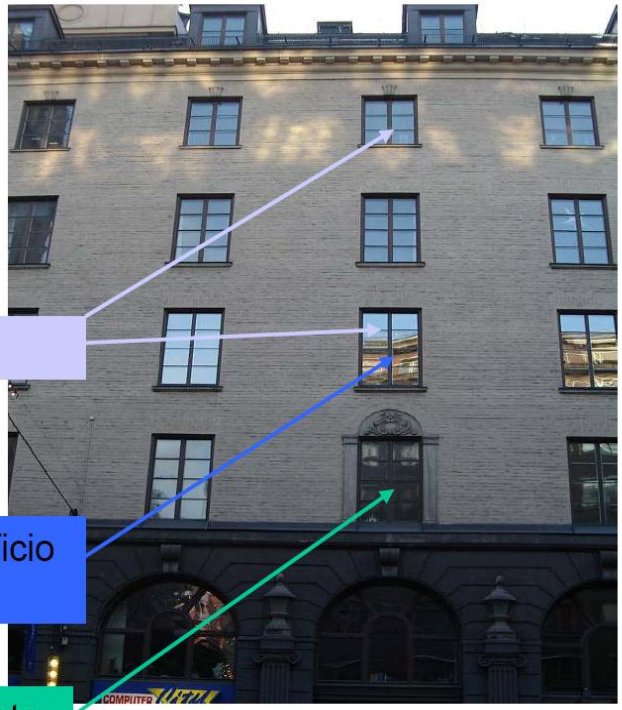
Per la misura interessa solo la prima componente; è quindi necessario fare attenzione alle condizioni di rilevazione per minimizzare gli inevitabili disturbi provocati dalle altre due componenti.

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati



E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati





Il cielo

Il tetto dell'edificio di fronte

L'edificio di fronte

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

EMISSIVITÀ

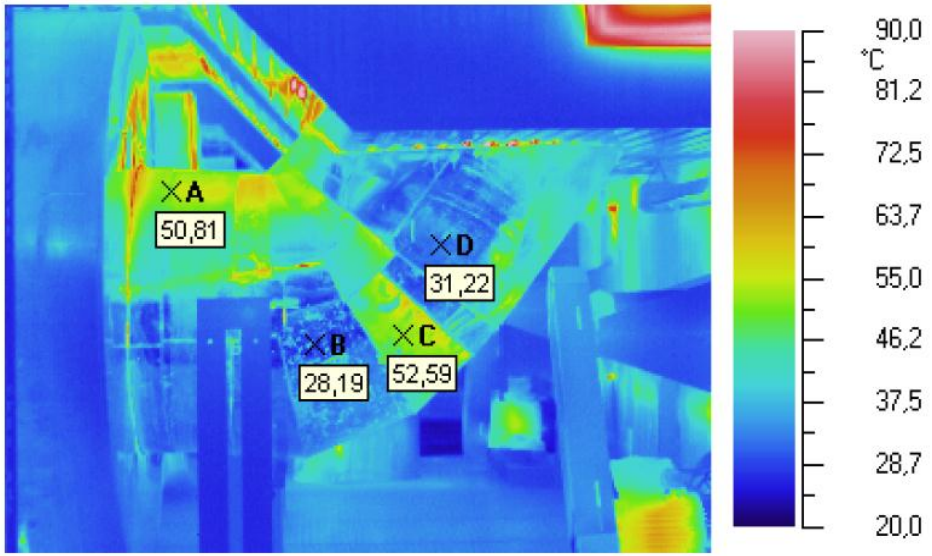
L'emissività di un corpo dipende da più fattori quali:

- tipo di materiale
- angolo di vista (quindi la forma)
- rugosità superficiale (lavorazione)
- temperatura
- lunghezza d'onda

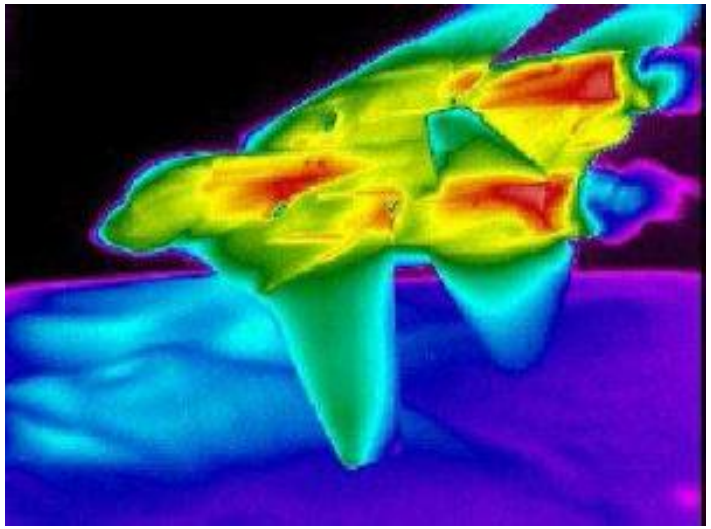
E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

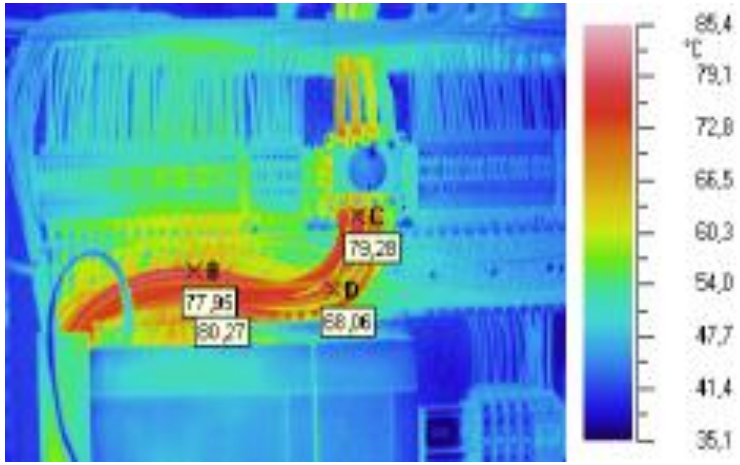
ESEMPIO DI UN SUPERFICI CON DIFFERENTE EMISSIVITÀ

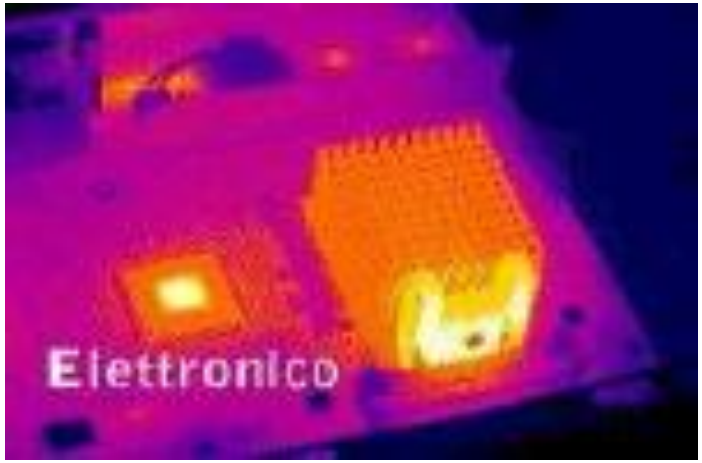
In questa condotta uscita fumi viene misurata sulla superficie lucida la temperatura di 28,19° C mentre sulla superficie opaca si misurano 52,59° C. Tale differenza di misura è dovuta alla differente emissività delle due superfici.



E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

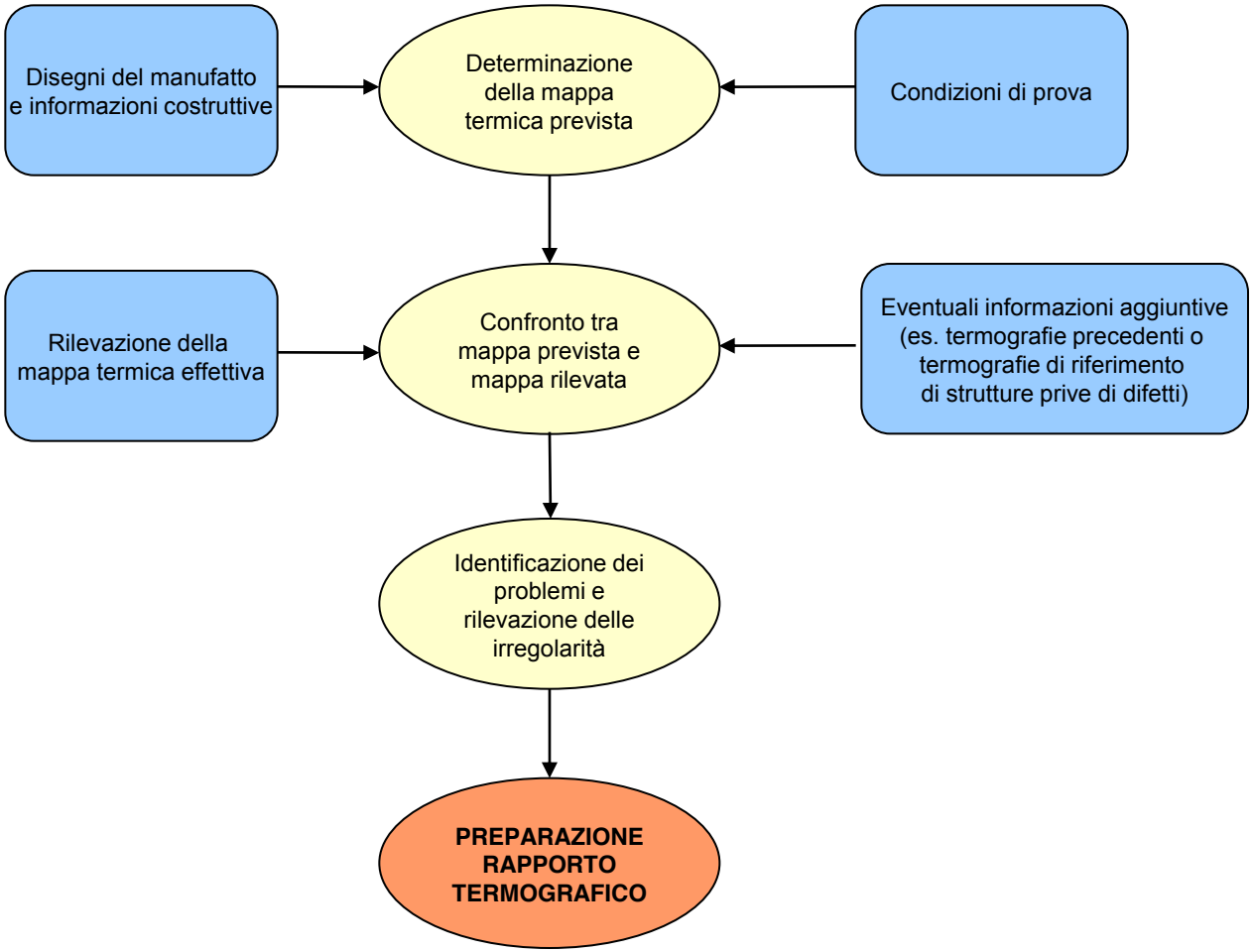






E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

PROCEDURA GENERALE DI ISPEZIONE TERMOGRAFICA



E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

UTILIZZO DELLA TERMOGRAFIA NELLA NAUTICA

- Individuazione di fenomeni osmotici
- Individuazione di irregolarità nella continuità dei materiali (delaminazioni, intrusioni di aria, fessurazioni, etc.)
- Individuazione di umidità
- Individuazione di caratteristiche strutturali
- Verifica funzionale di pannelli solari fotovoltaici

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

SCAFI IN VETRORESINA

La maggior parte delle imbarcazioni da diporto sono costruite in vetroresina.

Nelle barche normalmente troviamo due tipi di vetroresina:

- il monolitico, utilizzato principalmente per la fabbricazione dello scafo;
- il laminato in sandwich, normalmente utilizzato per la fabbricazione delle coperte, paratie, rinforzi e pannelli calpestabili;

A parità di peso una costruzione in laminato monolitico è meno rigida rispetto al sandwich, risulta però più resistente all'umidità e più facile da ripristinare in caso di formazione di osmosi.

Anche la riparazione conseguente agli urti è più semplice nel laminato monolitico; inoltre, quest'ultimo non soffre quando deve essere perforato per il posizionamento di passascafi o altre attrezzature, che invece richiedono appositi inserti o rinforzi nel sandwich.

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

SCAFI IN VETRORESINA

I principali problemi che si riscontrano in costruzioni in vetroresina sono della vetroresina sono:

- osmosi
- intrusioni d'aria
- delaminazioni e/o distacchi

Questi difetti possono avere diverse origini: errata lavorazioni, ambiente di lavoro non adatto alla manipolazione della vetroresina, incidenti che causano urti o stress meccanici del laminato, qualità della resina, etc..

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

OSMOSI

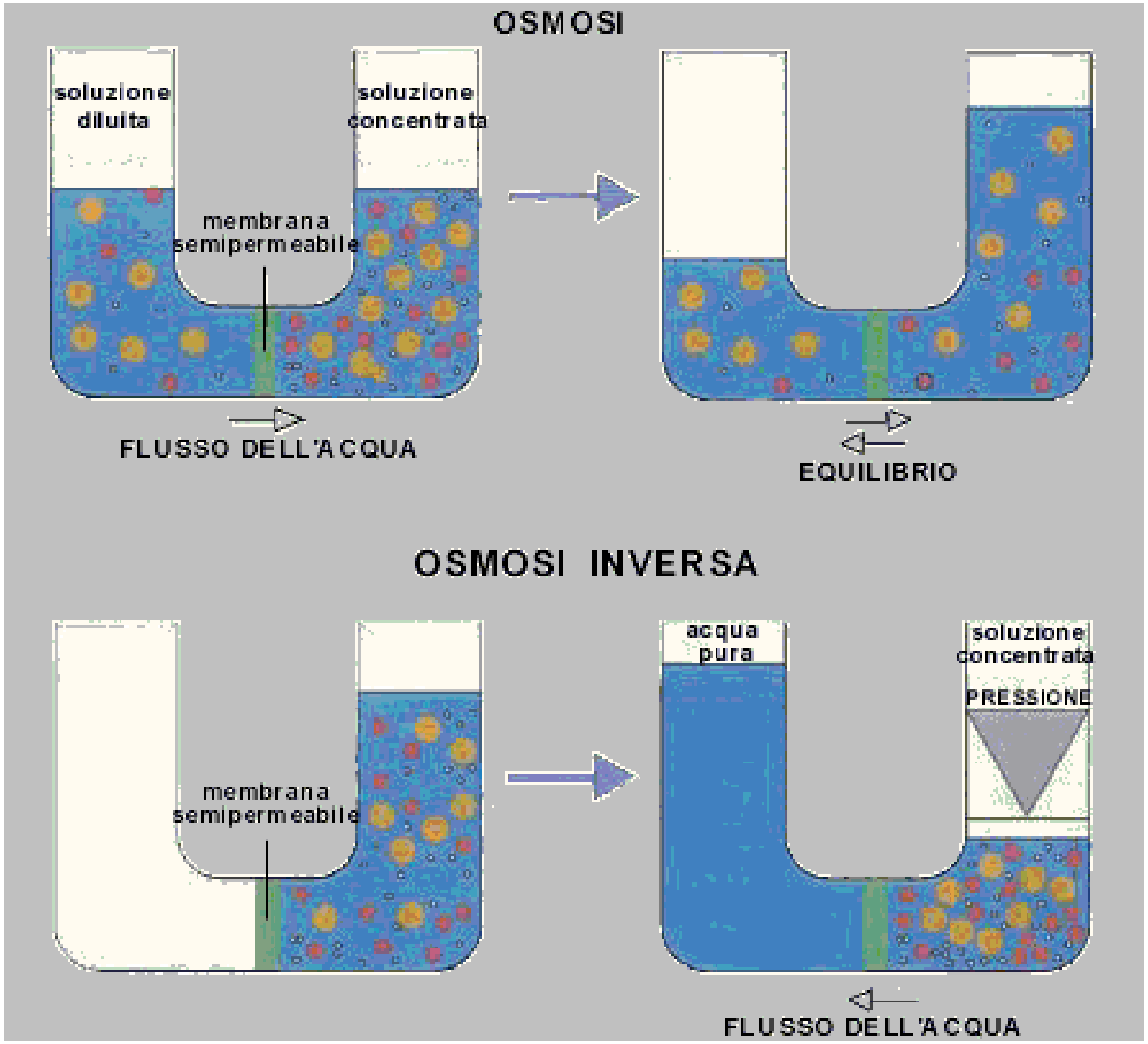
In fisica l' osmosi è il fenomeno consistente nel movimento di diffusione attraverso una membrana semipermeabile che separa due soluzioni a diversa concentrazione.

L'osmosi è un processo fisico spontaneo, vale a dire senza apporto esterno di energia; quando sui due lati della membrana si trovano soluzioni a diversa concentrazione, la differenza di pressione osmotica muove le molecole di solvente dalla soluzione più diluita verso la soluzione più concentrata, fino a quando le concentrazioni delle due soluzioni diventano identiche e i due potenziali chimici si equivalgono.

Il flusso netto di solvente può essere contrastato applicando una pressione al compartimento a concentrazione maggiore.

Se la pressione applicata supera la pressione osmotica, otteniamo l'osmosi inversa.

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati



E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

OSMOSI

Un manufatto composto da resina e lana di vetro con il passare del tempo può essere soggetto ad un processo degenerativo delle sue caratteristiche di resistenza e permeabilità. Se durante le fasi della laminazione rimangono delle intrusioni di aria, delle zone con aderenza non perfetta tra gli strati o la catalizzazione non è ottimale, con il tempo si creano nella stratificazione del laminato, delle microcamere.

In queste microcamere si può verificare con il tempo la formazione di umidità, dovuta in particolare all'infiltrazione di acqua attraverso il gelcoat, dato che gli scafi delle barche rimangono per la maggior parte del tempo a contatto con l'acqua.

In seguito per idrolisi si forma nella microcamera un liquido denso, a base acetica che costituisce la soluzione concentrata, mentre il gelcoat e lo stratificato fanno da membrana e l'acqua del mare (o lago) è la soluzione più diluita.

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

OSMOSI

Per osmosi la soluzione concentrata presente nelle microcamere richiama acqua dall'esterno, aumenta di volume e forma una bolla visibile sulla superficie dello scafo. Per questo motivo l'osmosi si forma sulle parti immerse dello scafo come la carena e il timone.

Lo strumento più diffuso per valutare la possibilità di innesco del fenomeno osmotico è l'igrometro; infatti all'aumentare del contenuto di umidità della vetroresina l'innesco del fenomeno osmotico diventa più probabile.

Il problema dell'igrometro è che la misura ottenuta è puntuale, per cui avendo la necessità di una mappatura dello scafo si è costretti a ripetere numerose misure.

Inoltre la misura con l'igrometro classico a forchetta non è propriamente «non distruttiva» in quanto si richiede una certa penetrazione del sensore all'interno della superficie dello scafo.

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

OSMOSI

Con la termografia, invece, si riesce ad analizzare porzioni di scafo molto più estese rispetto all'igrometro, ed effettuando più riprese può coprire tutta la superficie dello scafo

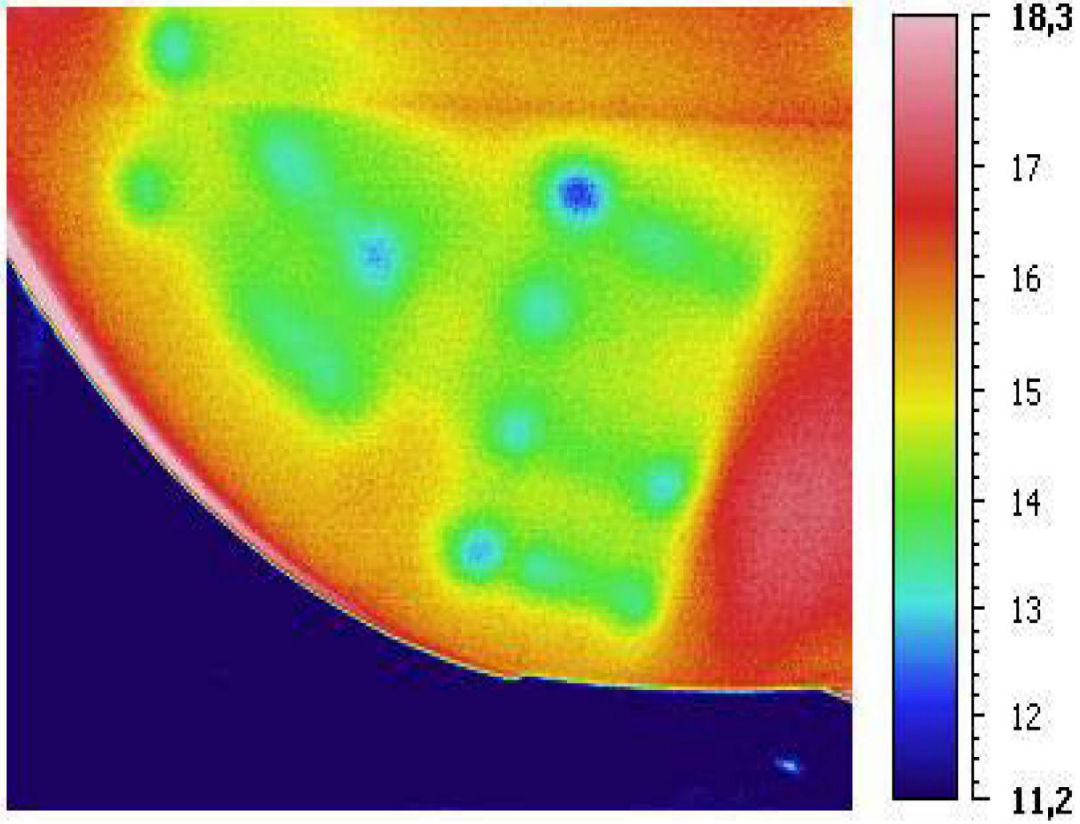
Dato che l'acqua ha una caratteristiche termiche diverse da quelle della vetroresina, la termografia individua i fenomeni osmotici come differenza di temperatura rispetto alla parte «sana» dello scafo.

Questa differenza viene evidenziata eseguendo l'analisi in fase di transitorio termico (riscaldamento o raffreddamento) o creando una differenza di temperatura tra interno ed esterno dello scafo.

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

OSMOSI

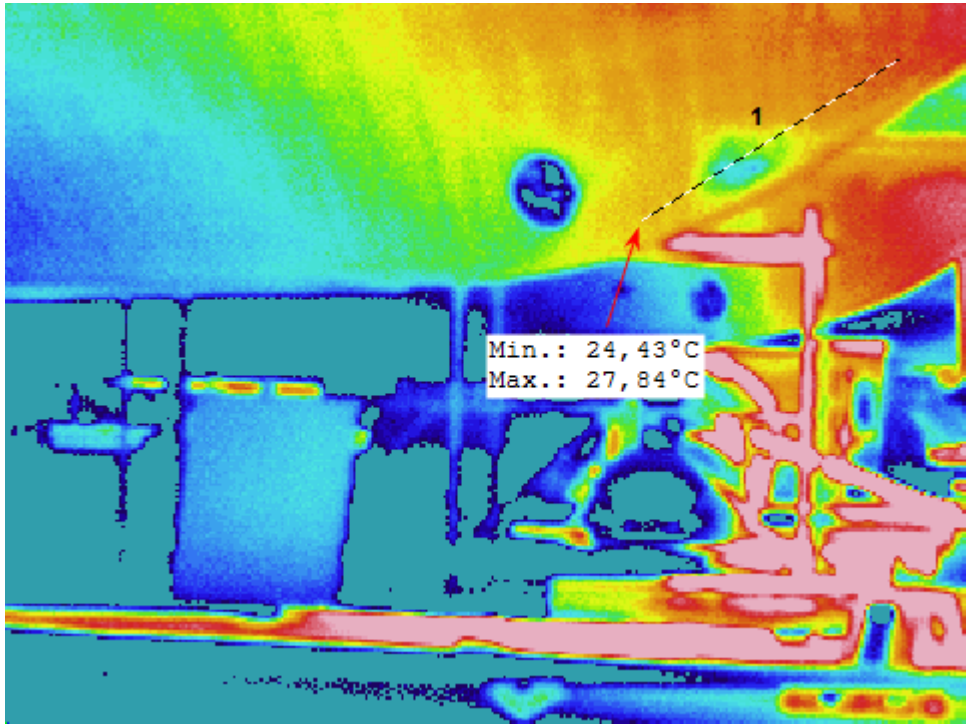
Le zone fredde sono presumibilmente imputabili al fenomeno dell'osmosi.
Le parti interessate dall'osmosi sono umide quindi si riscaldano meno rispetto al resto della superficie

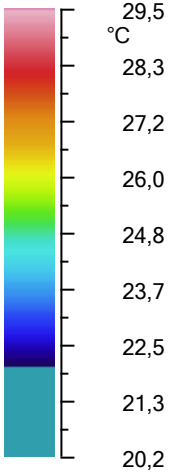


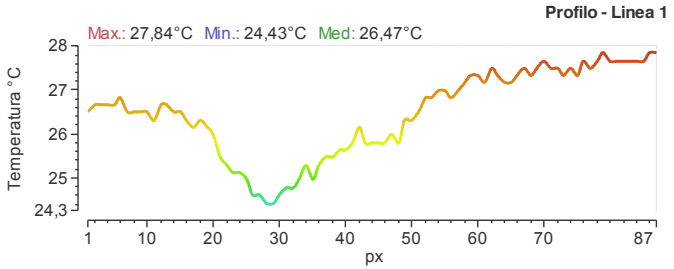
E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

UMIDITÀ E RIPARAZIONI

In corrispondenza del punto 1 si riscontra una anomalia di temperatura localizzata, che può essere dovuta ad una riparazione con apporto di materiale diverso oppure ad un problema di assorbimento di umidità. Si può notare la struttura di rinforzo dello scafo.



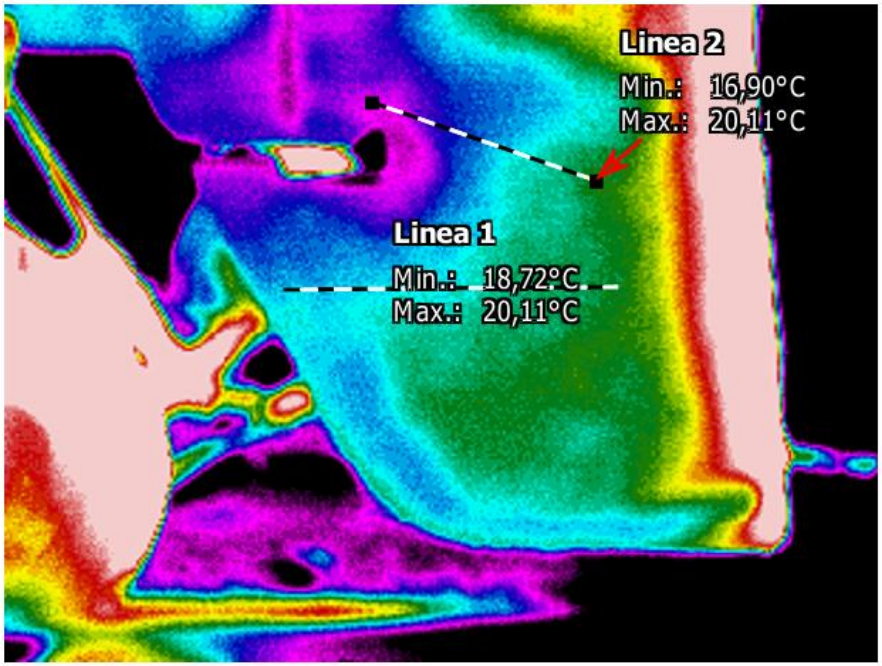


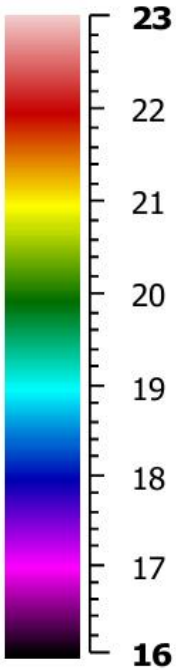


E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

UMIDITÀ

Questo timone ha delle zone fredde lungo il profilo sinistro e nelle aree adiacenti all'asse. In queste zone la differenza di temperatura può rappresentare la diffusione dell'assorbimento di umidità della vetroresina.





E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

DELAMINAZIONI E DISTACCHI

La delaminazione è un processo di rottura caratteristico dei materiali compositi ed è caratterizzato dalla separazione delle lamine.

Come tutti i materiali anche quelli compositi sono sede di difetti, microcavità, inclusioni, disuniformità strutturali che ne pregiudicano il comportamento meccanico nel tempo.

Queste imperfezioni, che possono non avere diretta influenza sulle proprietà meccaniche quali la resistenza a trazione o la rigidità del materiale, possono, tuttavia fungere da punto di innesco per estese delaminazioni; una compressione nel piano del laminato è sufficiente per innescare e propagare una frattura interlaminare, ovvero una frattura che si sviluppa all'interfaccia tra due lamine adiacenti.

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

DELAMINAZIONI E DISTACCHI

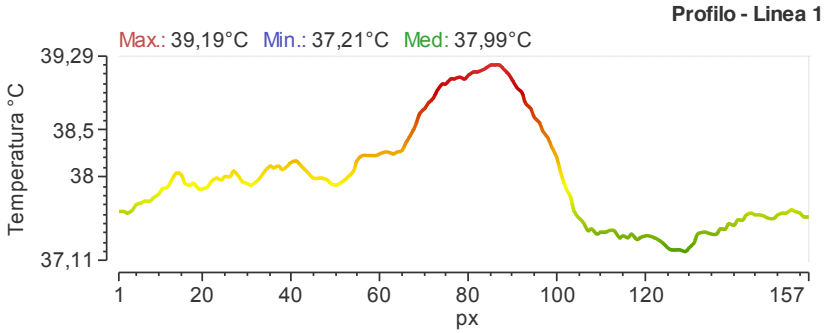
Molti di questi difetti hanno origine durante la produzione, altri si generano durante il trasporto e l'assemblaggio, durante i quali il materiale può essere sollecitato da sforzi differenti per direzione e intensità rispetto a quelli per i quali era stato progettato.

Come per l'osmosi, anche in questo caso, la termografia può rivelare la presenza di distacchi (non troppo piccoli, dell'ordine di qualche millimetro) per differenza di temperatura.

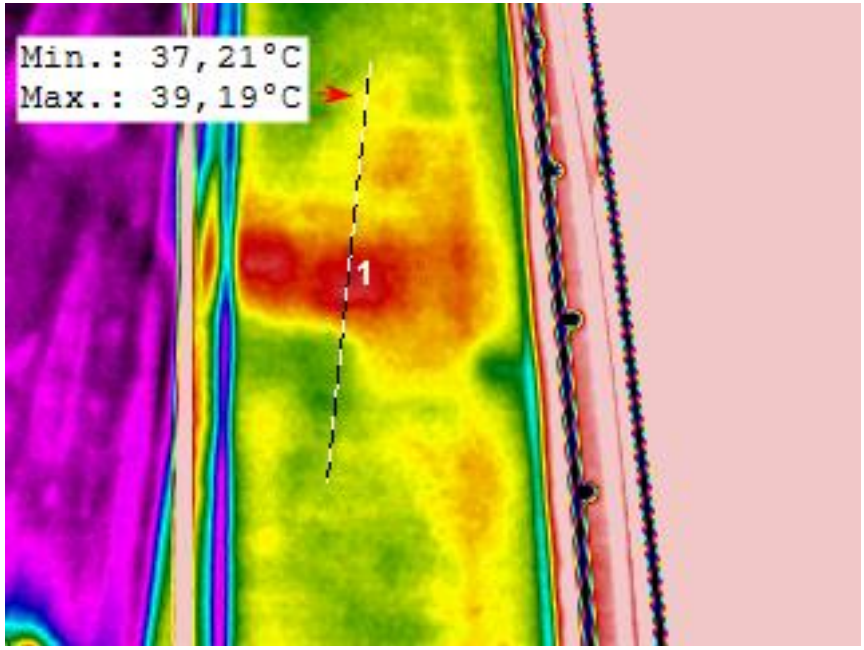
La zona interessata da distacco presenterà delle temperature diverse in quanto la trasmissione di calore viene influenzata dalla interruzione creata dalla delaminazione.

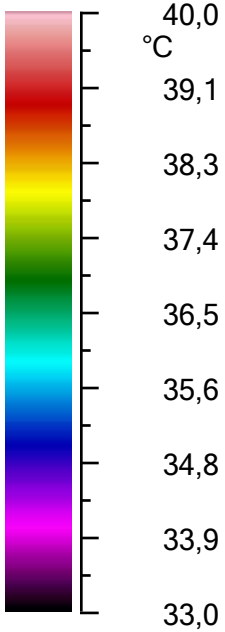
E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

DELAMINAZIONI E DISTACCHI



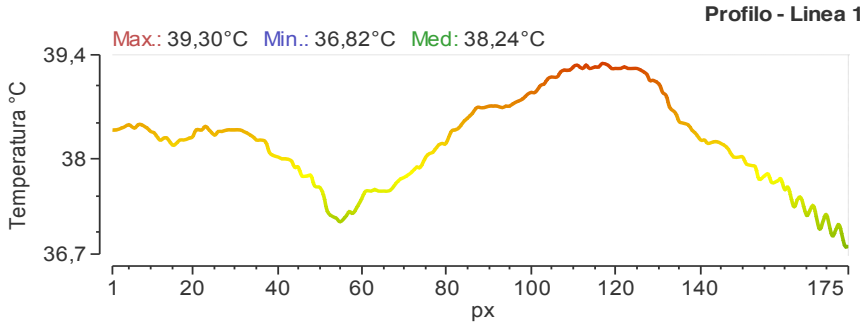
L'immagine rappresenta la coperta di una imbarcazione costruita in sandwich. Nella zona centrale dell'immagine si nota una zona con temperatura più elevata che indica un possibile distacco della pelle in vetroresina dal core.



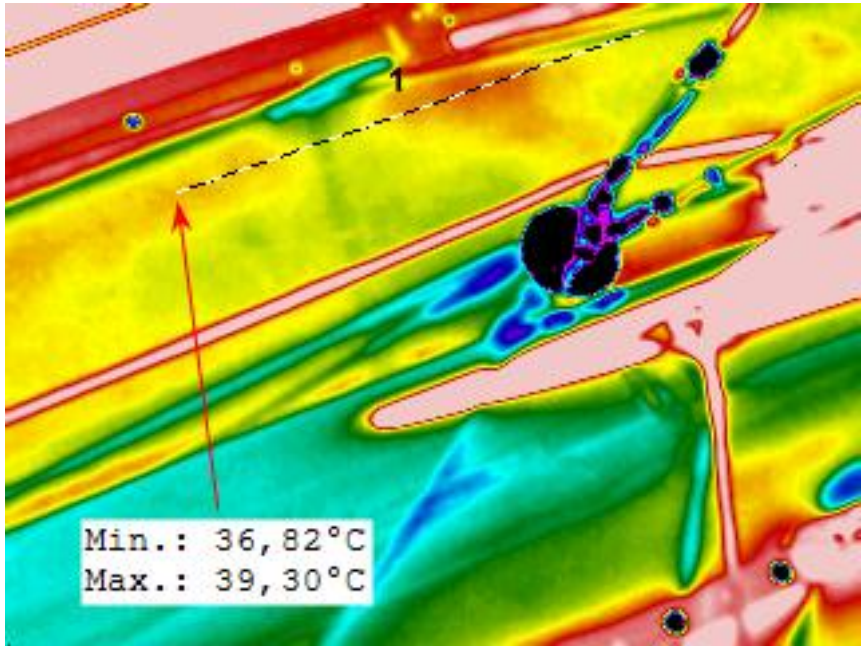


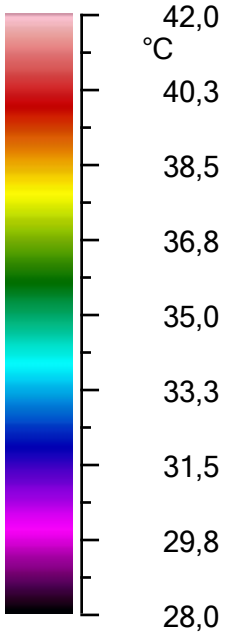
E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

DELAMINAZIONI E DISTACCHI



Anche in questo caso riscontriamo una zona a temperatura superiore che indica un possibile problema di contatto tra pelle e core.

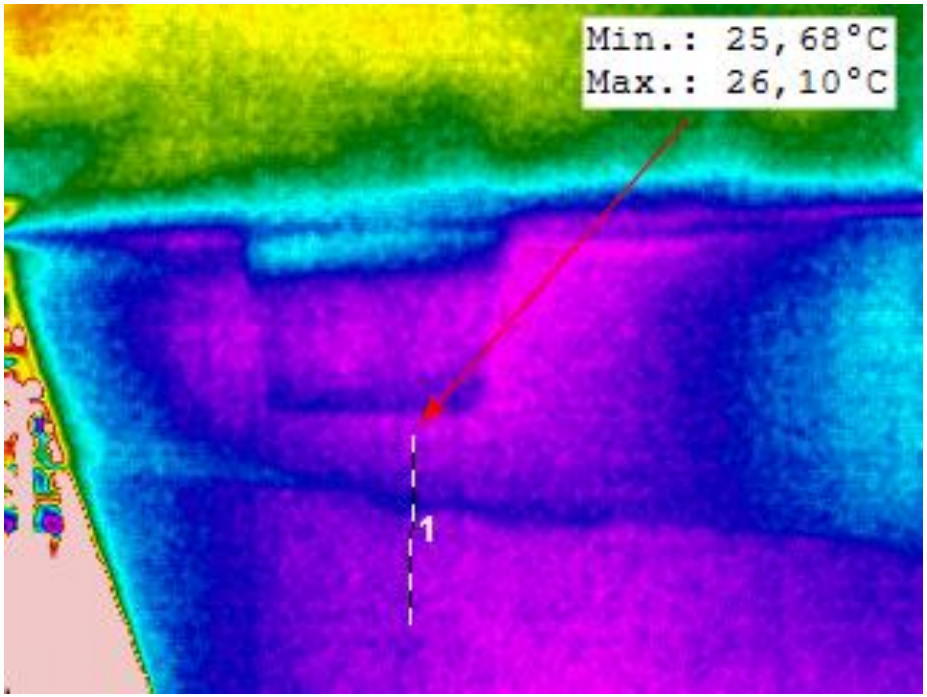


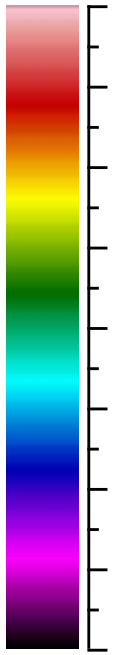


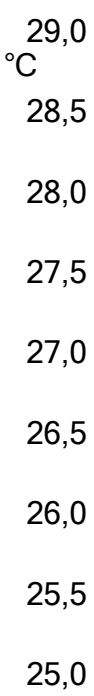
E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

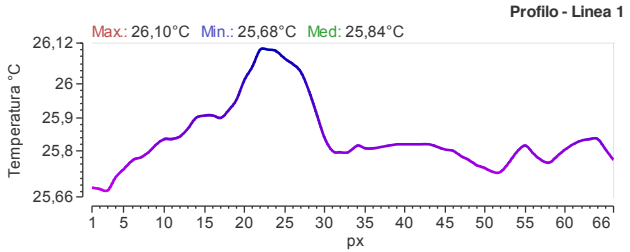
DELAMINAZIONI E DISTACCHI

In questo caso oltre al pozzo di sentina si riscontra una irregolarità longitudinale che può rappresentare una criccatura del materiale o una riparazione; sono opportuni in questo caso ulteriori accertamenti sullo stato della deriva.





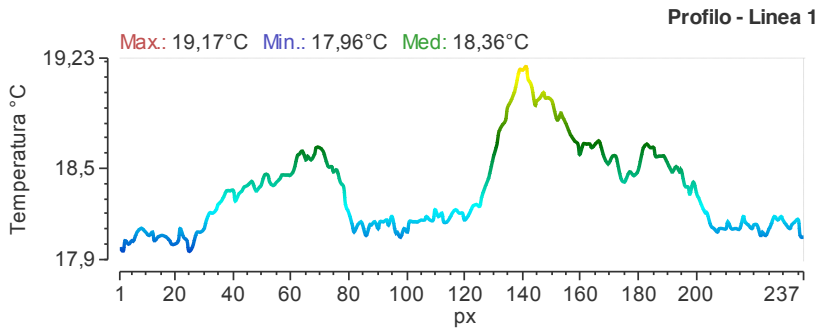


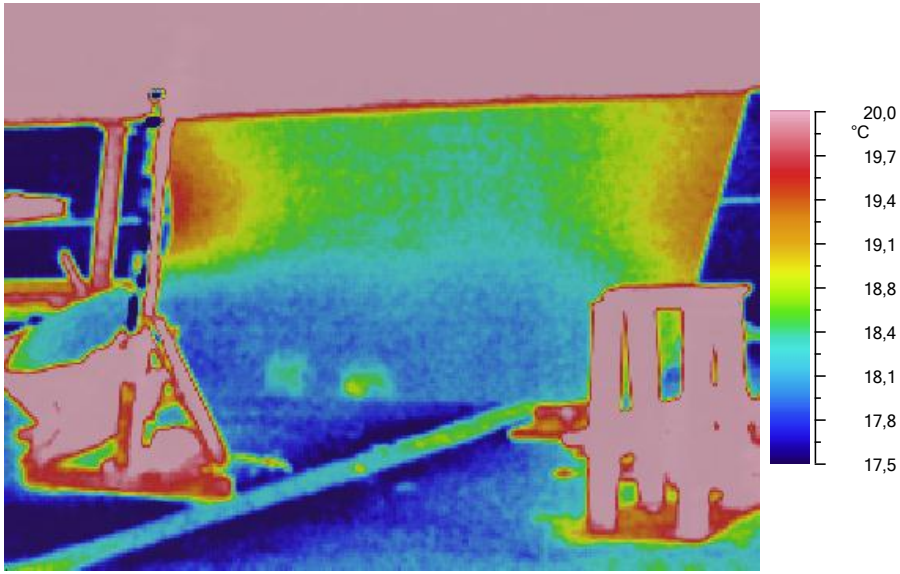


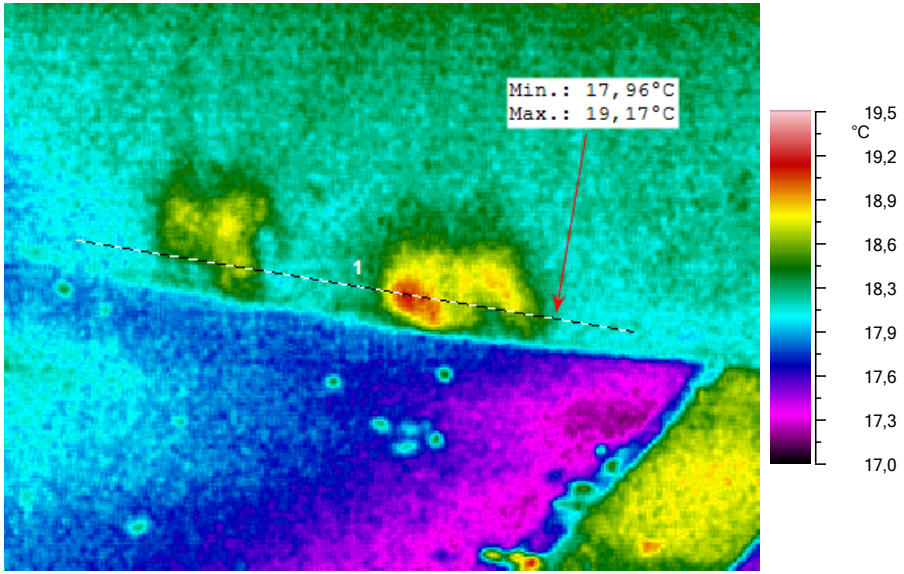
E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

DELAMINAZIONI E DISTACCHI

Nonostante in apparenza il bulbo di questa imbarcazione appaia in perfette condizioni, si notano due anomalie termiche dovute probabilmente a riparazioni oppure alla presenza di ossido sotto lo strato verniciato.



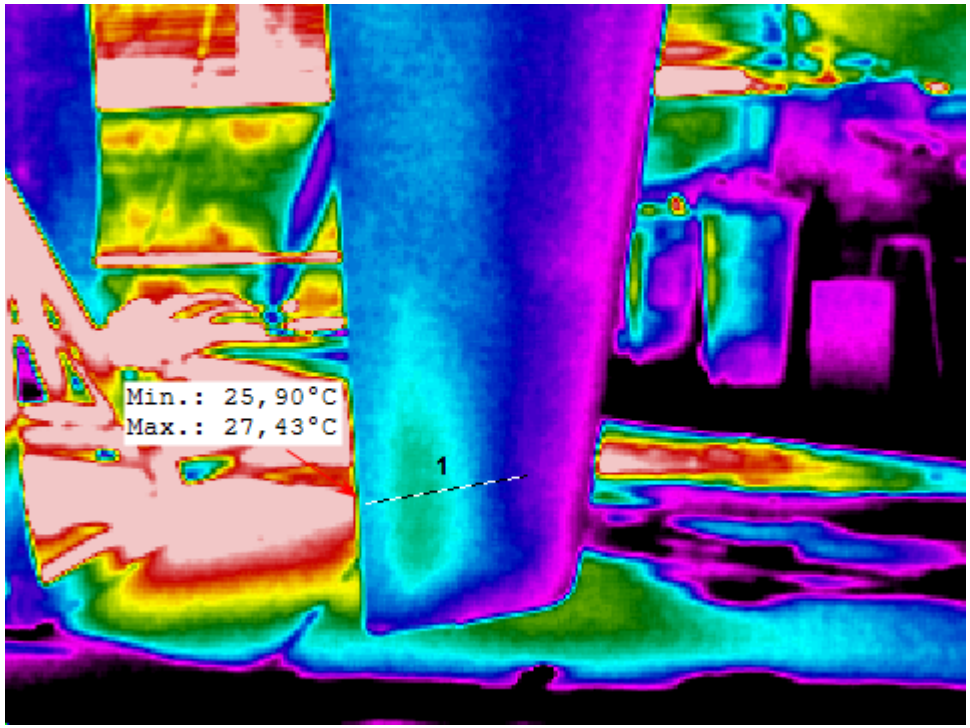


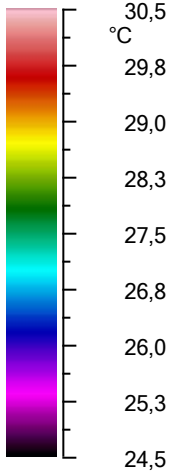


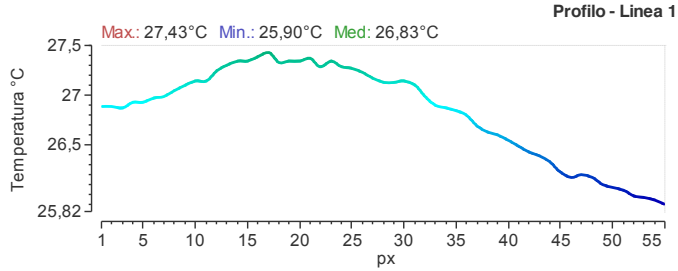
E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

DELAMINAZIONI E DISTACCHI

In questo caso si riscontra una irregolarità nella zona posteriore bassa del timone che può rappresentare una riparazione o stuccatura; sono opportuni in questo caso ulteriori accertamenti sullo stato del manufatto.



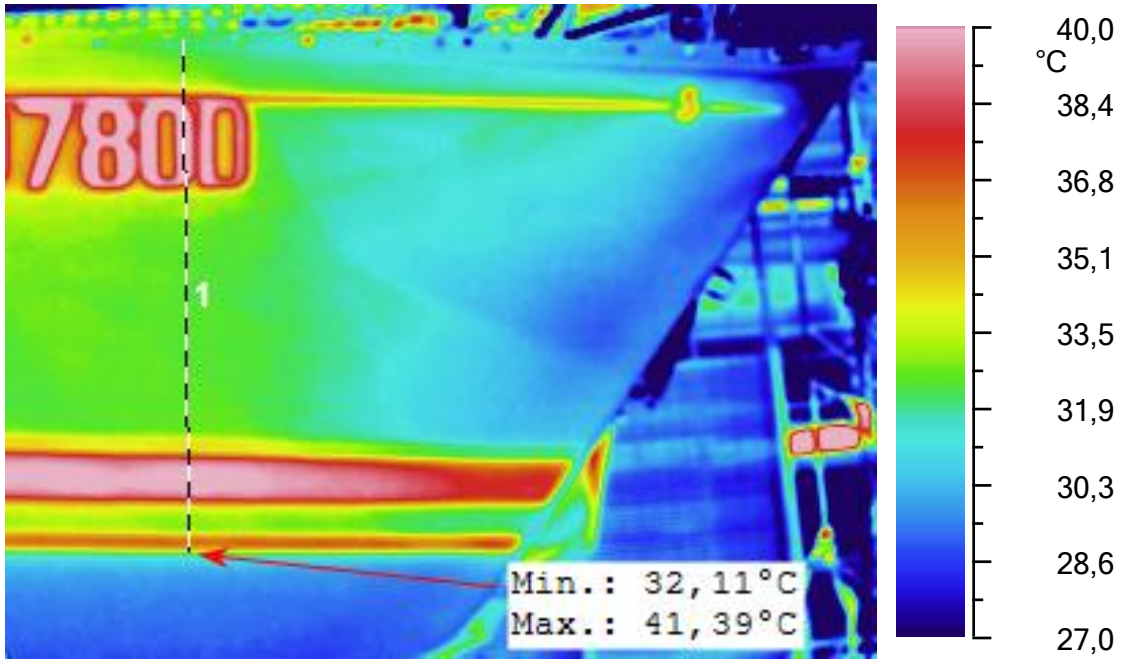


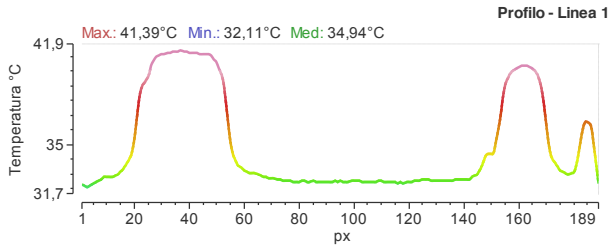


E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

COLORE DELLO SCAFO E TEMPERATURE

Come si può osservare, la parte scura dello scafo (fregi e scritte) risulta avere, a parità di esposizione, una temperatura decisamente spueriore a quella delle parti chiare (circa 10° C in questo caso). Si evidenzia come il colore scuro dello scafo, pur essendo più elegante, provochi sollecitazioni termiche maggiori ai materiali, oltre che creare condizioni di abitabilità meno confortevoli.

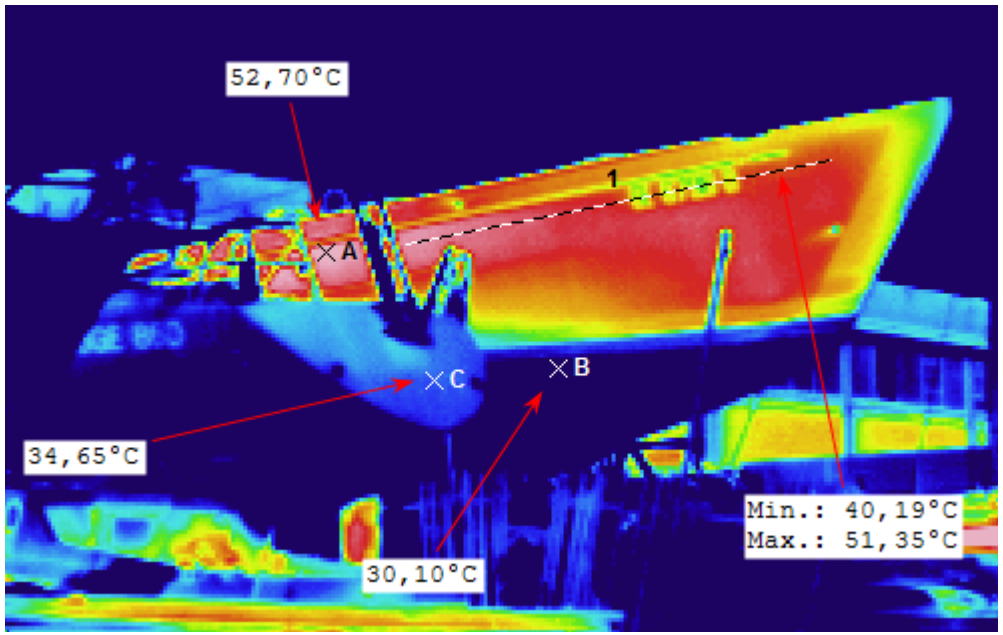


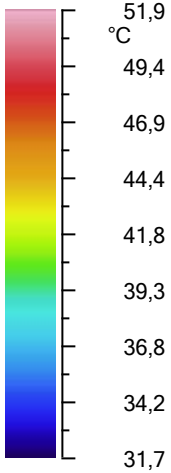


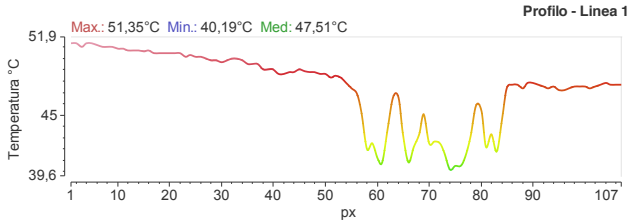
E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

COLORE DELLO SCAFO E TEMPERATURE

In questo caso le temperature sono decisamente superiori; confrontando la temperatura dello scafo blu con quella dello scafo bianco di fianco, soggetto al medesimo irraggiamento, si riscontrano differenze di temperatura di oltre 15 ° C, fino a punte di quasi 20 ° C



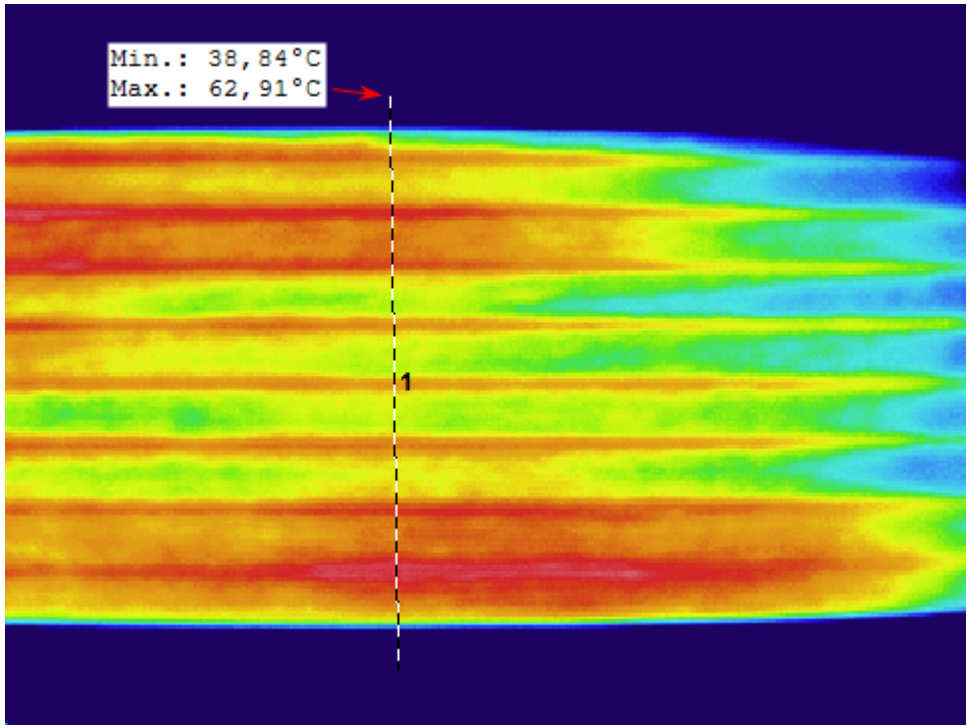


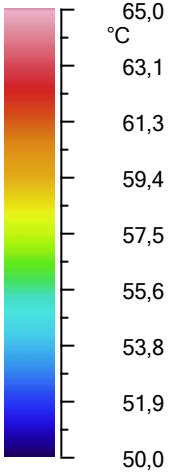


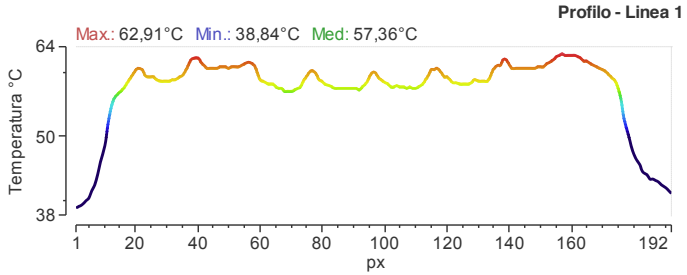
E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

PONTE IN TEAK

Si può agevolmente notare la sensibile differenza di temperatura (quasi 25° C) tra la superficie in teak e quella in vetroresina in particolare in corrispondenza alle sigillature in materiale polimerico.







E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

VERIFICHE SCAFI

Durante una trattativa di compravendita di una imbarcazione, è importante sapere se lo scafo ha subito delle riparazioni o dei trattamenti preventivi per l'osmosi.

I cambiamenti di materiale creati da stucchi o resina epossidica sono visibili agli infrarossi in quanto i materiali usati per ripristinare le parti sottoposte a riparazione avranno diverse caratteristiche termiche, individuabili con la termografia.

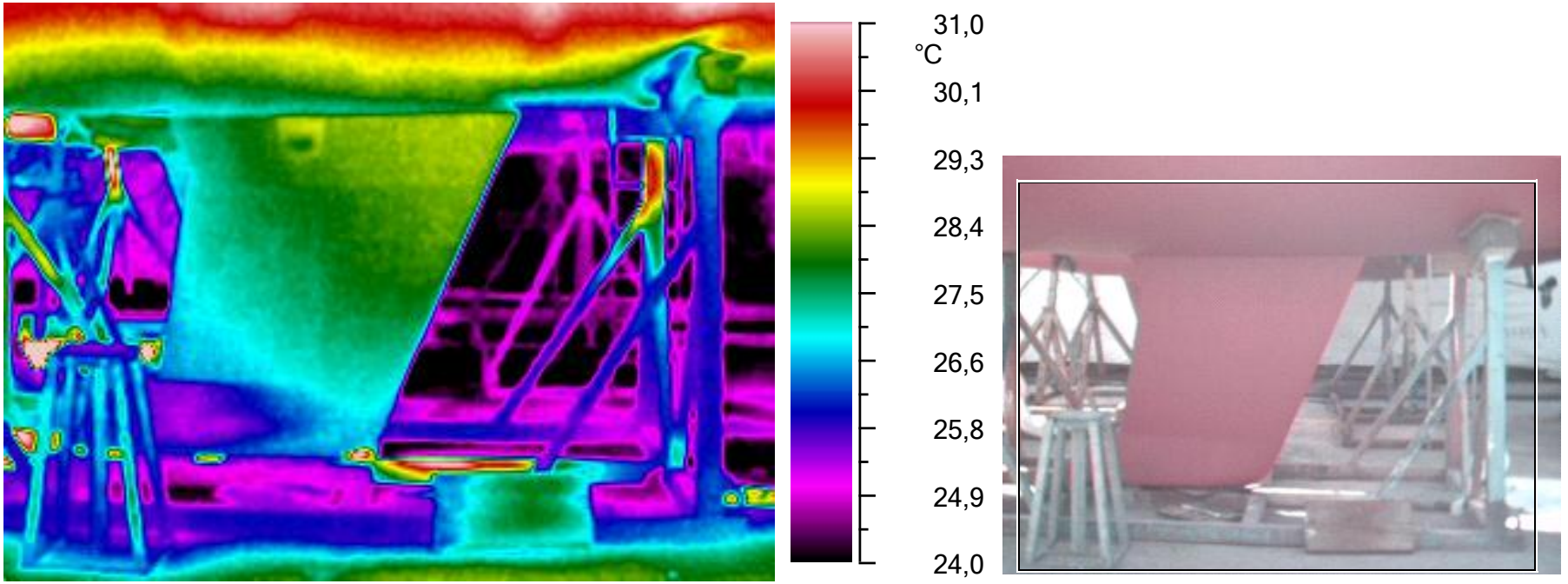
Una barca sottoposta a trattamento antiosmosi viene sottoposta a sabbiatura, viene asportato il gelcoat e rimosse le parti di fibra di vetro rovinate; successivamente lo scafo viene ricostruito con nuovi strati di fibra di vetro e resina epossidica

Tale lavorazione costituisce un cambiamento di materiale nascosto dalla vernice e quindi invisibile all'occhio umano ma visibile all'infrarosso.

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

COSTRUZIONE E STRUTTURA

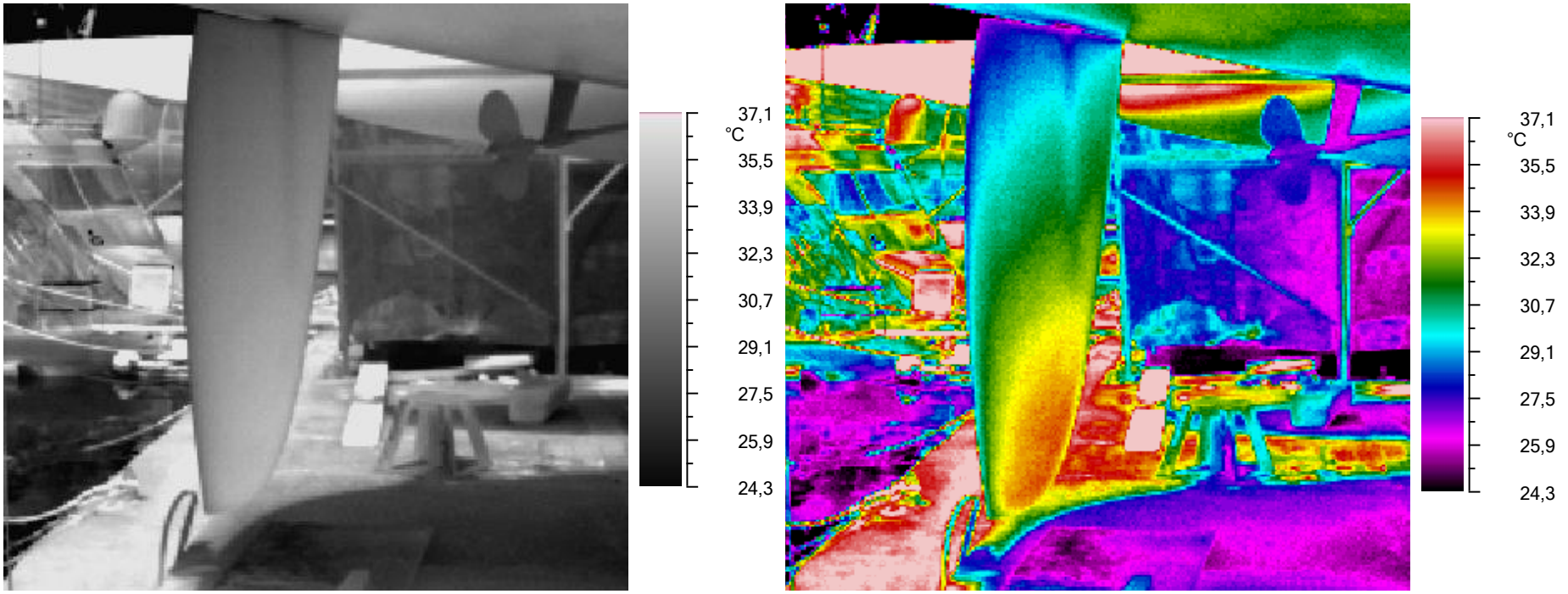
In queste immagini si nota come in determinate circostanze sia possibile evidenziare le caratteristiche costruttive di uno scafo; si nota infatti con chiarezza la presenza del pozzo di sentina.



E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

COSTRUZIONE E STRUTTURA

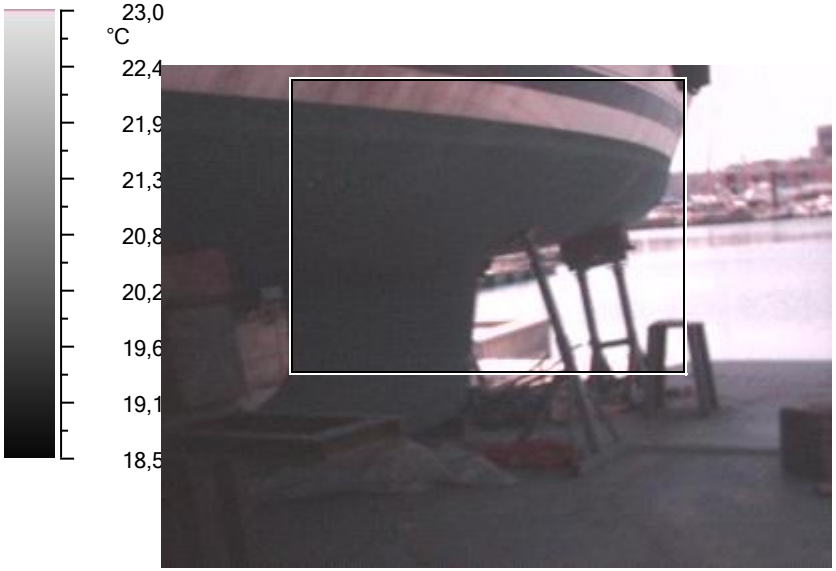
Possiamo agevolmente notare l'asse del timone all'interno della pala; l'immagine in scala di grigi mostra con maggiore chiarezza il percorso dell'asse.



E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

COSTRUZIONE E STRUTTURA

In questo caso vediamo agevolmente la struttura dei rinforzi dello scafo.

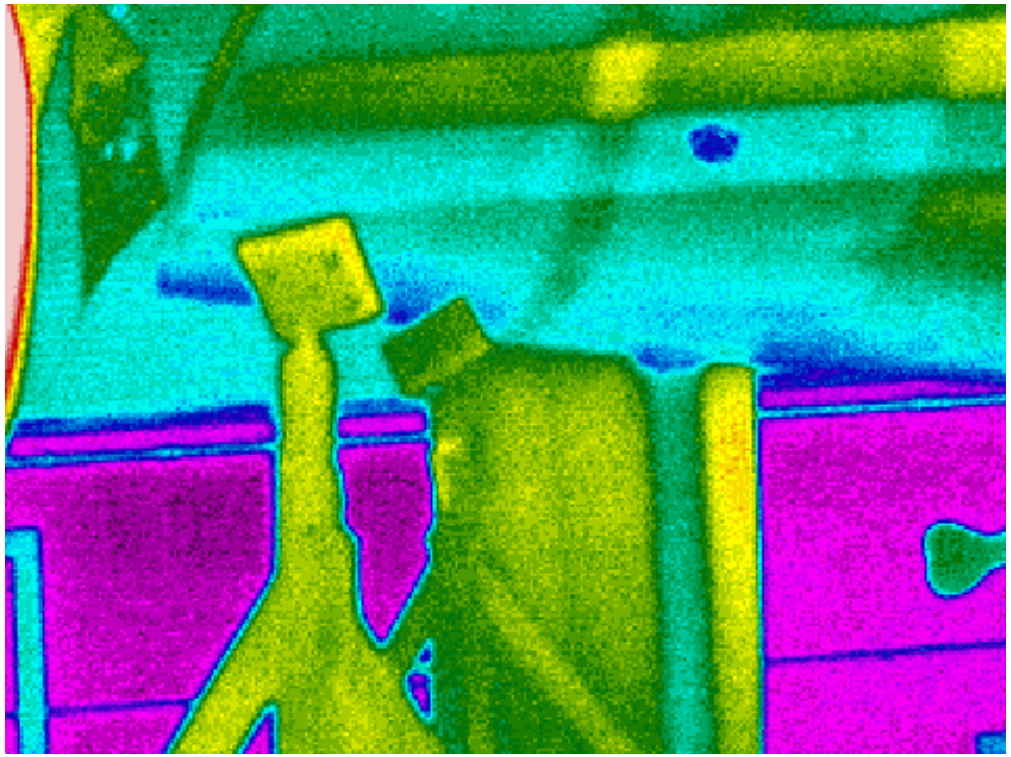


E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

COSTRUZIONE E STRUTTURA

Anche in questo caso è evidente la posizione dell'asse del timone.

Si evidenzia anche la posizione della paratia di poppa, a sinistra dell'asse del timone.



E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

BARCHE IN LEGNO

Anche gli scafi in legno possono essere ispezionati con la termografia.

Il legno è un materiale che assorbe facilmente umidità, risulta quindi importante che i trattamenti superficiali, verniciature, etc., siano integri in modo da non permettere l'assorbimento dell'acqua.

Il legno imbevuto d'acqua cambia la sua temperatura a causa della differente capacità termica specifica dell'acqua rispetto al legno.

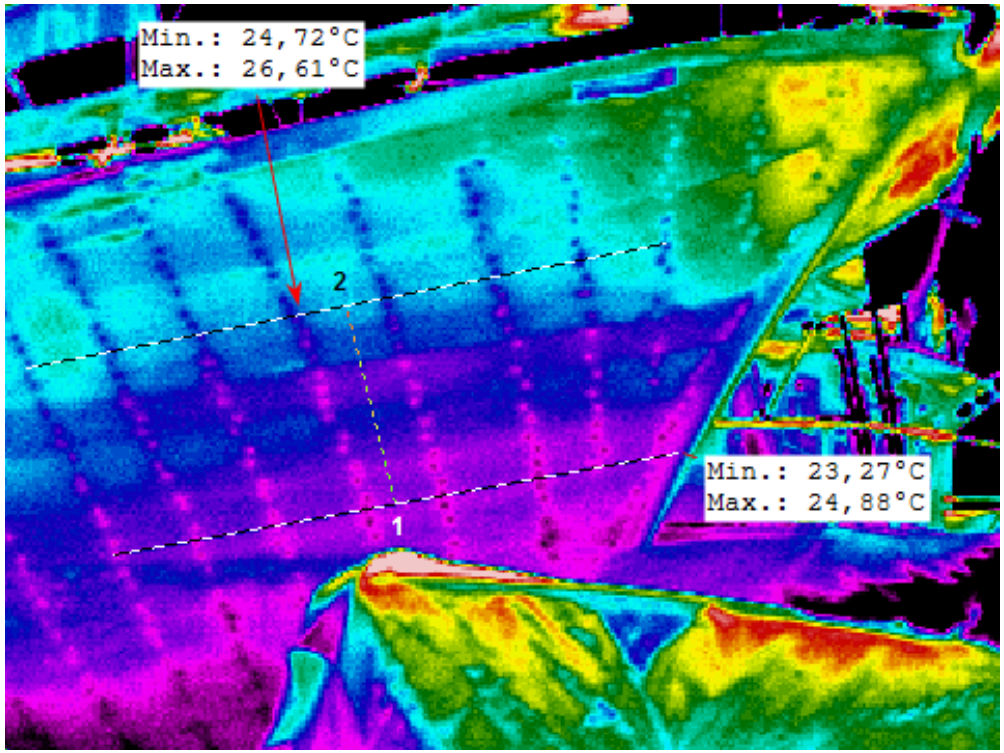
Misurando con la termocamera la temperatura superficiale della tavola, le parti più umide avranno temperature diverse rispetto le zone più secche.

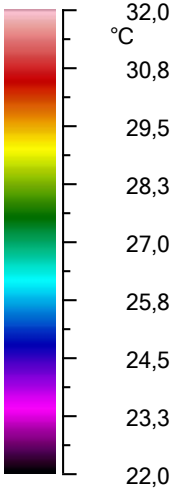
In particolare l'esame in fase di transitorio termico di riscaldamento si avvantaggia anche del fenomeno del calore latente di evaporazione dell'acqua.

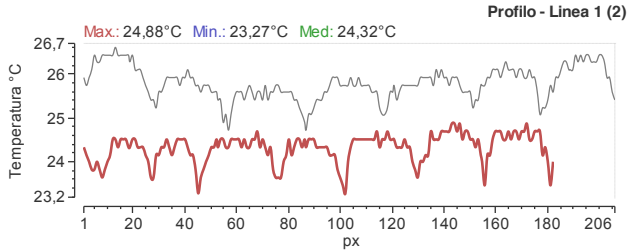
E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

BARCHE IN LEGNO

Si nota con evidenza la zona dell'opera morta che, pur essendo al di sopra della line di galleggiamento, ha assorbito umidità e si trova pertanto ad una temperatura inferiore a quella della zona circostante asciutta.
Si notano inoltre la struttura dello scafo e le chiodature di fissaggio delle tavole.





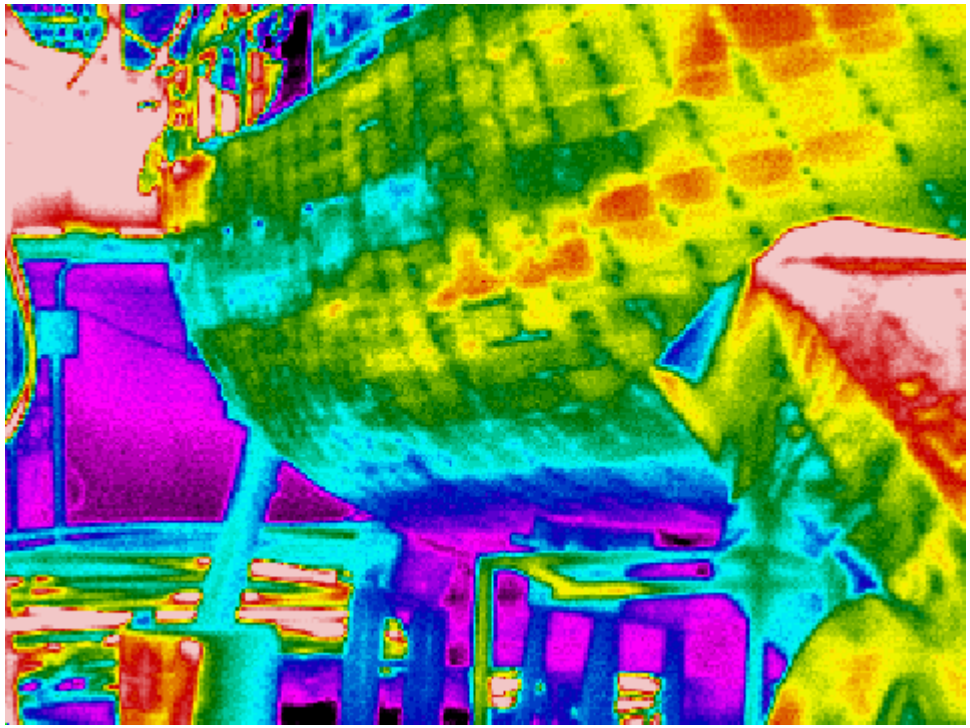


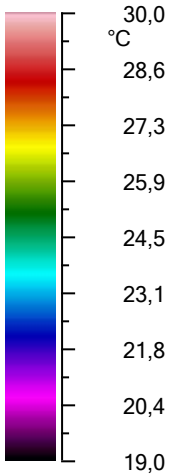
E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

BARCHE IN LEGNO

Si è riscontrata un'altra zona ad elevato valore di umidità del fasciame.

Le zone più calde in alto a destra sono probabilmente dovute a distacco dello strato protettivo esterno.



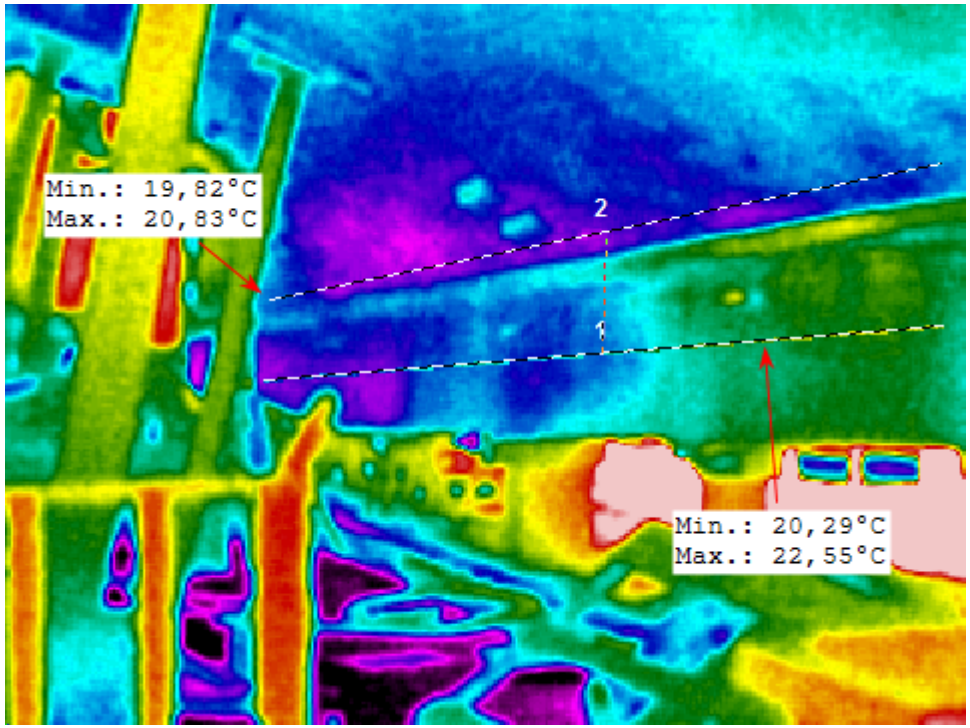


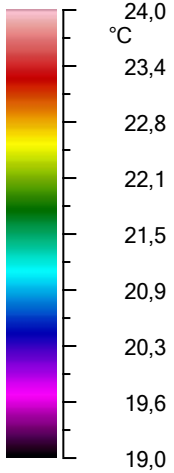
E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

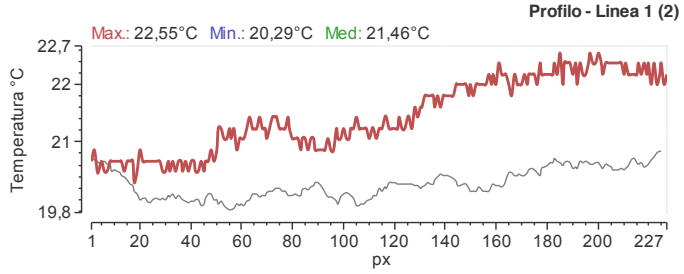
BARCHE IN LEGNO

Questa è la ripresa della chiglia di un grosso caicco.

Si noti come nella zona sinistra si sia verificato un assorbimento di umidità sia sulla chiglia che sul fasciame mostrato dall'area più fredda.



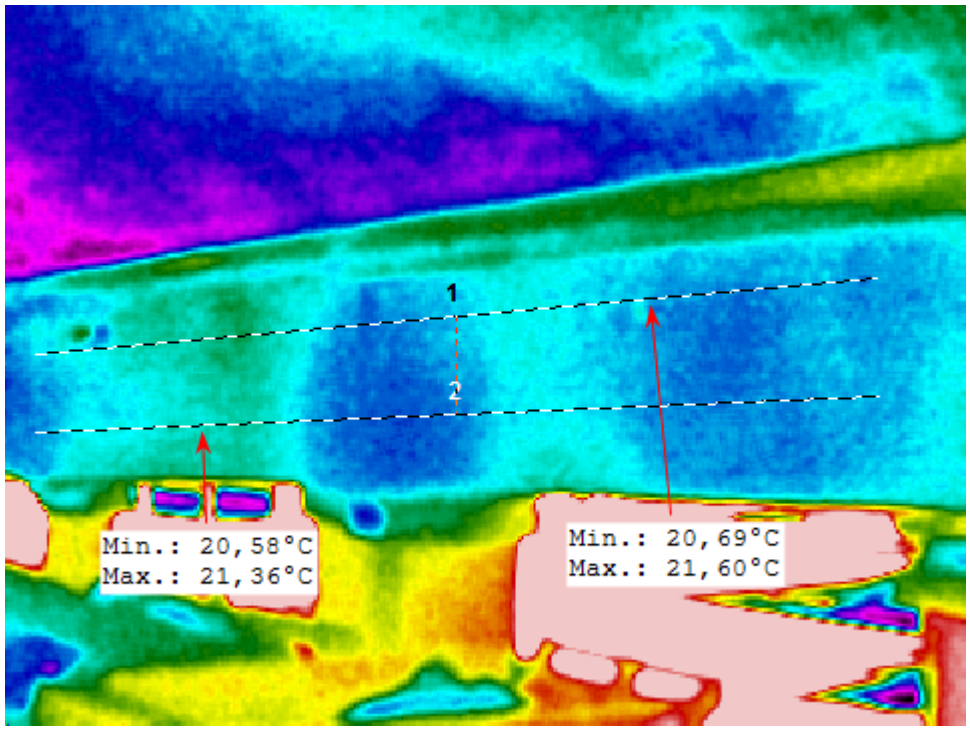


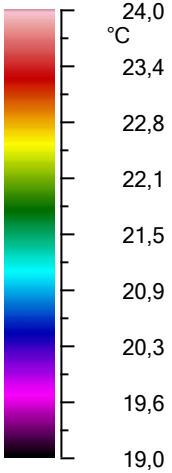


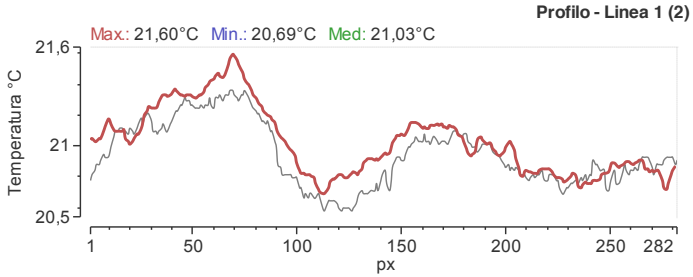
E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

BARCHE IN LEGNO

Altra inquadratura della stessa imbarcazione in una zona diversa.



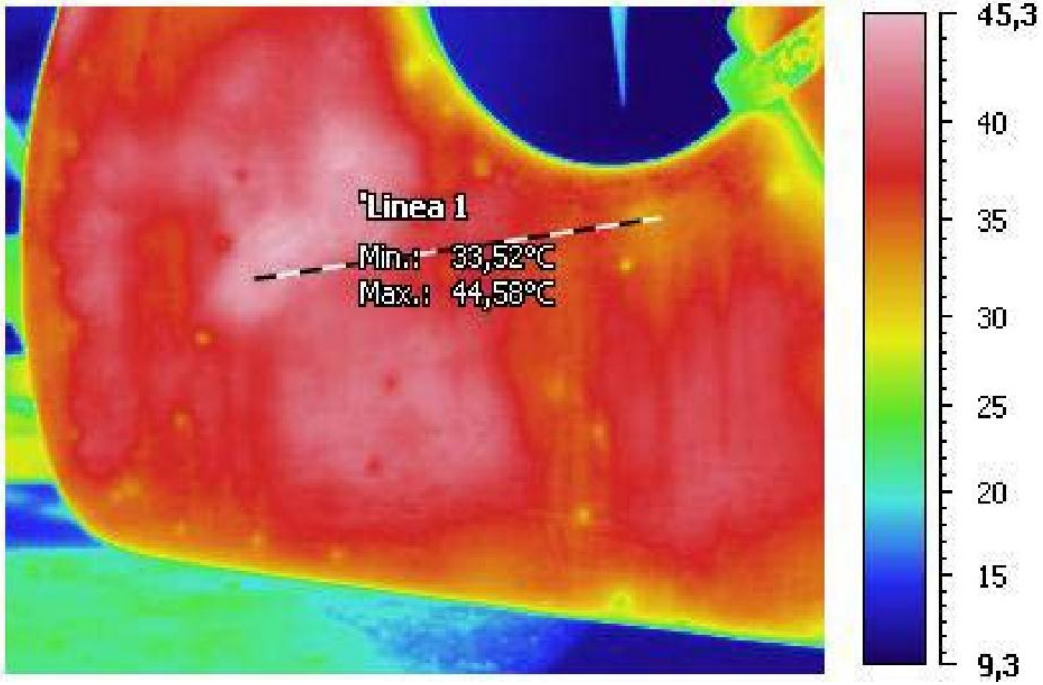




E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

BARCHE IN LEGNO

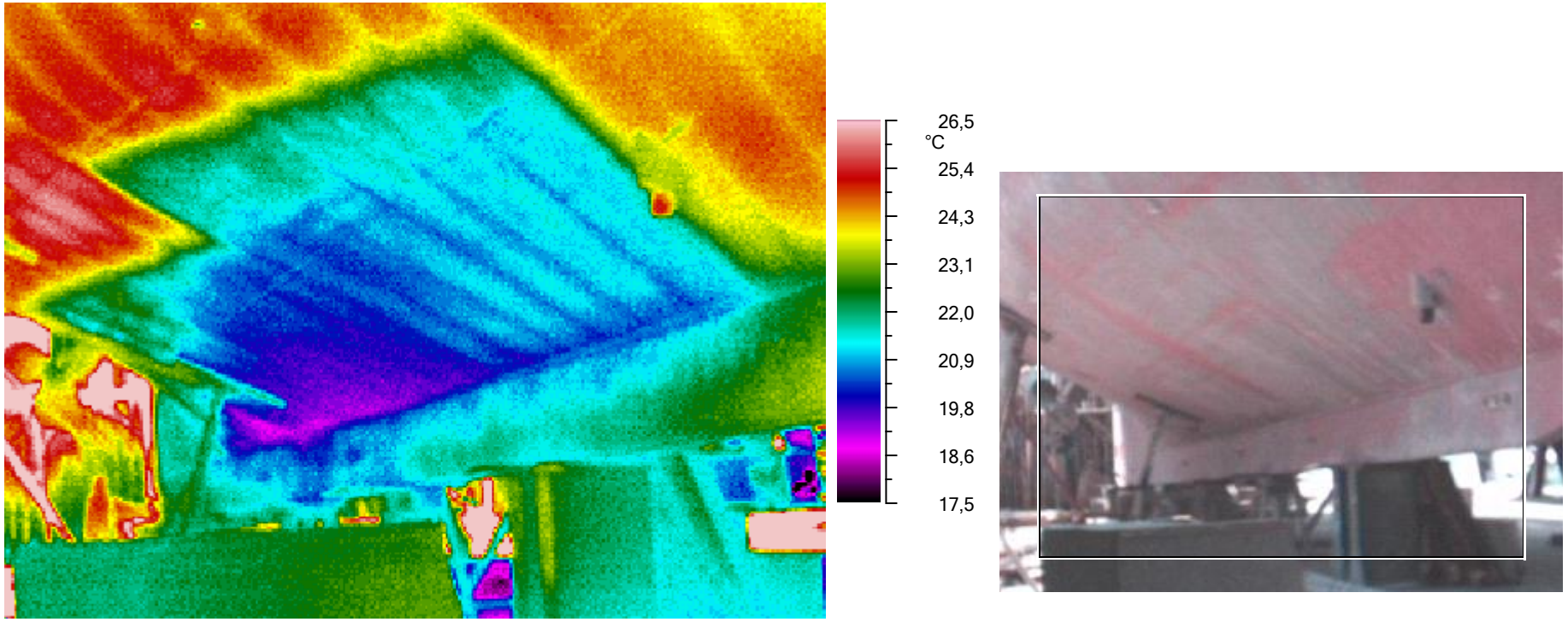
L'elevata differenza di temperature mostrata dalla linea 1 mette in evidenza una vasta zona interessata da difetto del materiale. Vista la regolarità dell'area interessata la zona rappresentata in bianco/rosso può essere il risultato di una riparazione con apporto di materiale di diversa conducibilità termica. L'elevata differenza di temperatura non esclude la possibilità che si tratti di un distacco del materiale riportato.



E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

IMBARCAZIONI IN METALLO

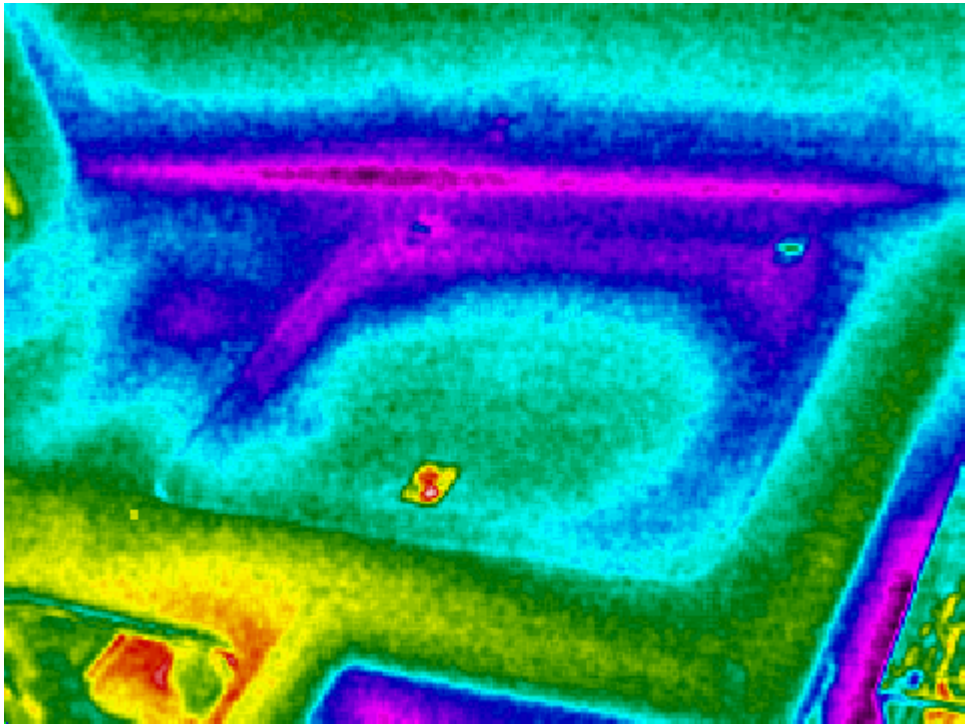
Si noti la regolarità strutturale e la notevole anomalia termica, dovuta ad una cassa (serbatoio) strutturale di acqua o di carburante.

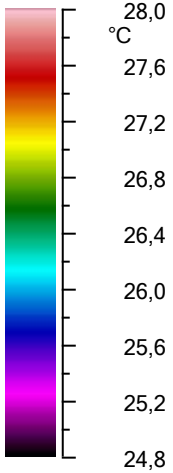


E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

DISPERSIONI TERMICHE

Dispersioni termiche dal frigorifero.

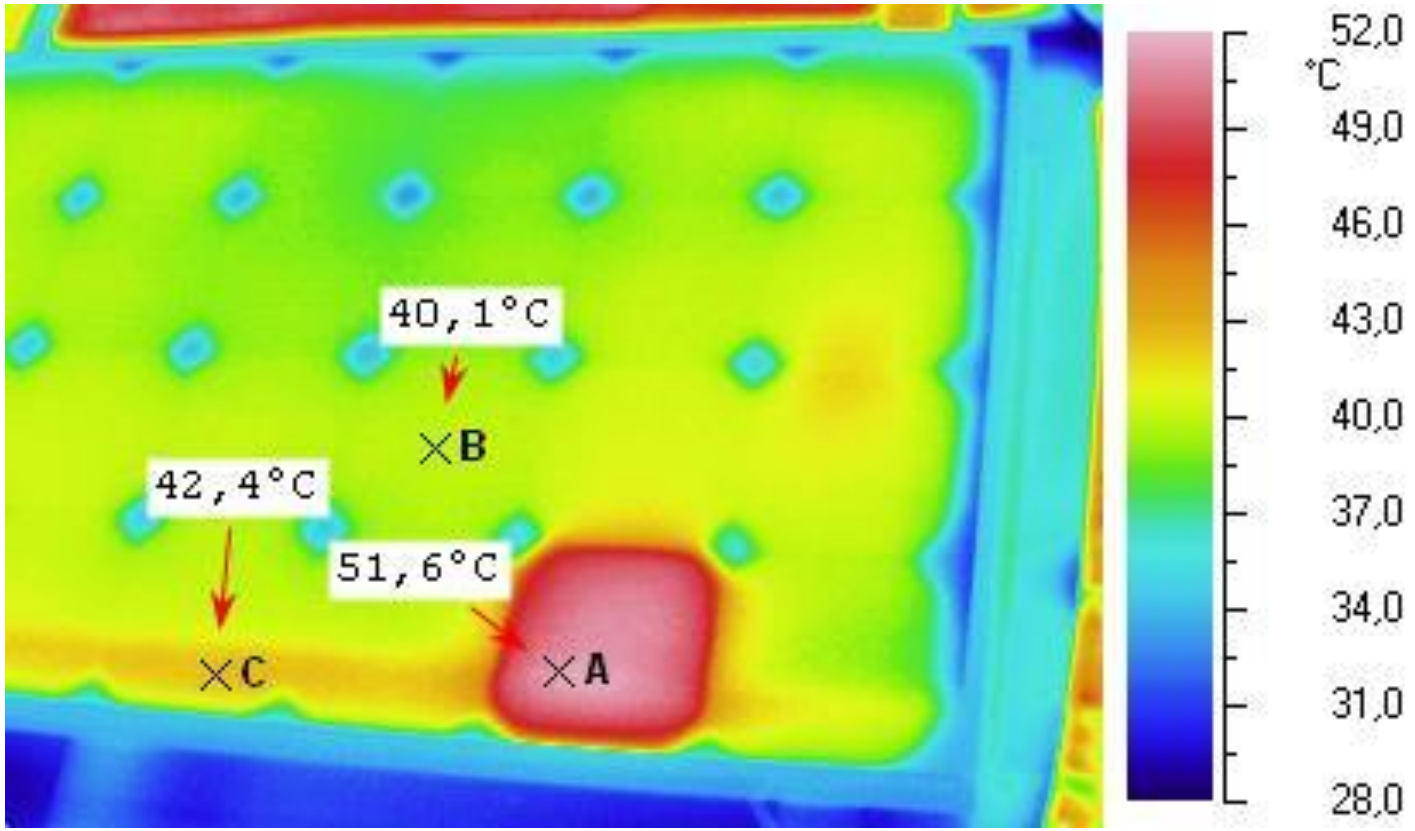




E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

PANNELLI SOLARI FOTOVOLTAICI

E’ possibile visualizzare l'eventuale presenza di celle difettose, che compaiono come zone a temperatura superiore.



E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

USO DELLA TERMOGRAFIA

È necessario che l'esame e la relativa relazione vengano eseguiti da un operatore qualificato e certificato secondo la normativa EN 473 e/o ISO 9712. Sono previsti tre livelli di qualifica; solo operatori con qualifica di Livello 2 o 3 sono autorizzati a firmare perizie termografiche.

In Italia gli enti certificatori sono:

- Istituto Italiano della Saldatura
- RINA
- CICPND

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati

GRAZIE
PER LA VOSTRA
ATTENZIONE

E' vietata la duplicazione - Tutti i diritti riservati