



ISTITUTO ITALIANO DELLA SALDATURA

Corso di formazione Aziendale per
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA)

Rilievi dimensionali

Analisi dimensionali

Rilievi dimensionali
serbatoio atmosferico di
stoccaggio

analisi dimensionale dei componenti
e verifica dell'assetto del serbatoio

analisi anomalie sui componenti

analisi strutturale

**Verifica idoneità e
valutazione necessità
di interventi correttivi
mirati sul serbatoio o
su alcuni componenti**

Normative di riferimento

- API Std 653 "Tank Inspection, Repair, Alteration and Reconstruction";
- API 579-1/ASME FFS-1-"Fitness-for Service".

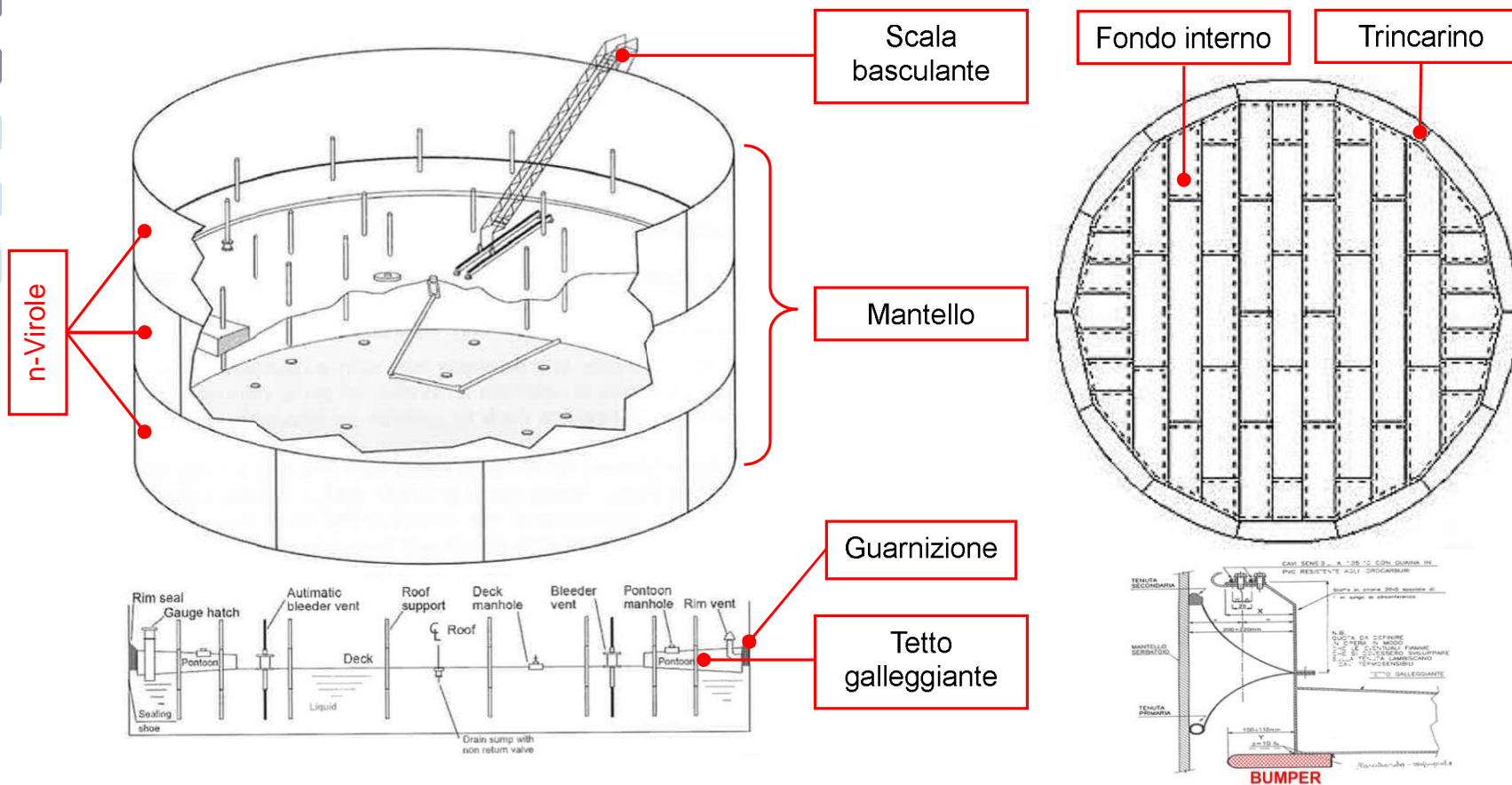
Attrezzature

- Metro a nastro
- Filo a piombo
- Stazione totale
- Livella ottica
- Laser Scanner
- Droni ("APR" Aeromobili a pilotaggio remoto)

Strumenti di misura/rilievo differenti da utilizzare a seconda dello scopo dell'attività

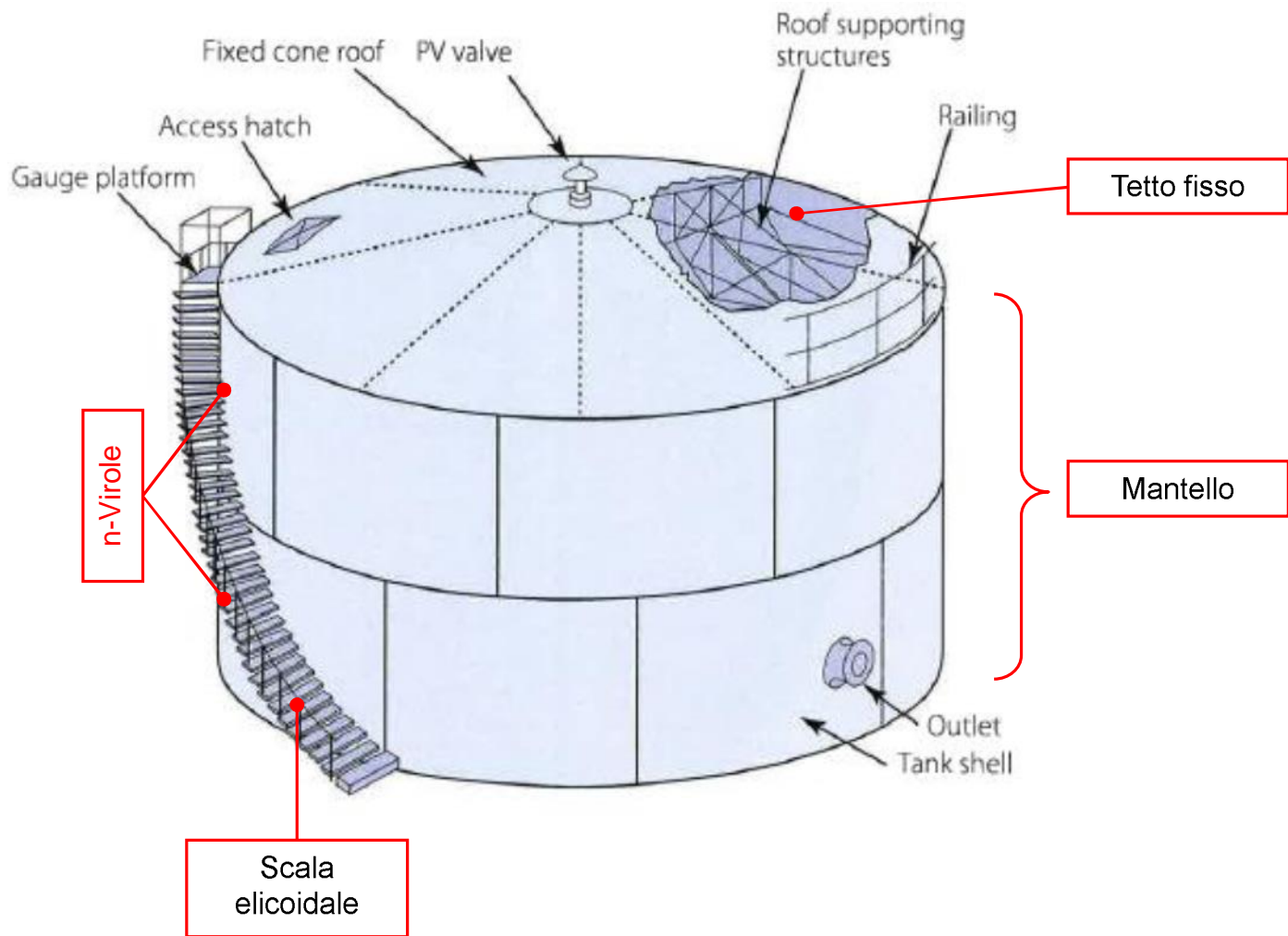
Analisi dimensionali

Schematizzazione tipologia di serbatoio a tetto galleggiante



Fondo tipico per diametri medio - grandi

Schematizzazione tipologia di serbatoio a tetto fisso



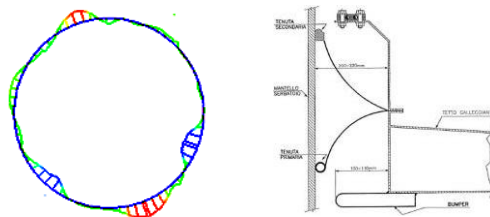
Verifiche dimensionali in accordo allo Standard API Std 653

Verifica dell'attuale assetto del serbatoio

1) Verifica della **verticalità** del serbatoio/mantello "Plumbness"



2) Verifica della **cilindricità** del mantello "Roundness"

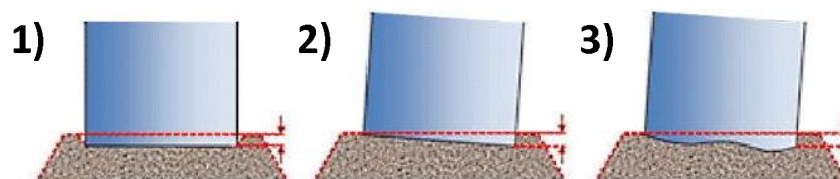


3) Verifica di **planarità** della porzione periferica del fondo del serbatoio "Evaluation of Tank Bottom Settlement"



Verifica di planarità dell'anello periferico del fondo

Scopo: individuare la presenza di eventuali cedimenti della porzione periferica del fondo del serbatoio, che possono essere associati ad una delle seguenti tipologie (o una loro combinazione):



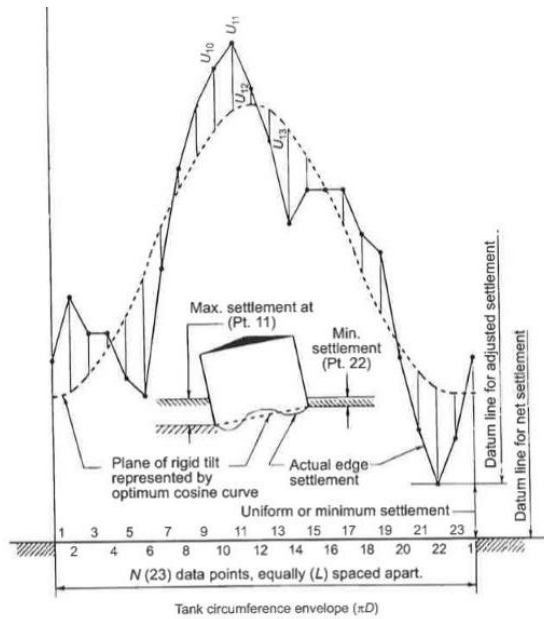
- 1) **“Uniform settlement”** → danneggiamento connessioni tubazioni o elementi connessi al serbatoio
- 2) **“Rigid body tilting of a tank”** → incremento del livello del liquido → tensioni sul mantello, mancata tenuta guarnizioni perimetrali, possibile blocco del tetto galleggiante e danneggiamento tubazioni/elementi connessi
- 3) **“Out of plane settlement”** → tensioni aggiuntive su mantello, zona periferica fondo e connessione di base, deformazioni del mantello (“out-of roundness”) → possibile blocco del tetto, danneggiamento sistemi interni di supporto tetto, danneggiamento connessioni con tubazioni connesse

Scostamenti
rilevati



Valore limite (API Std 653)
 $f(L, Y, E, H) - f(K, S_{arc}, D, H, Y, E)$

“Out of plane settlement”

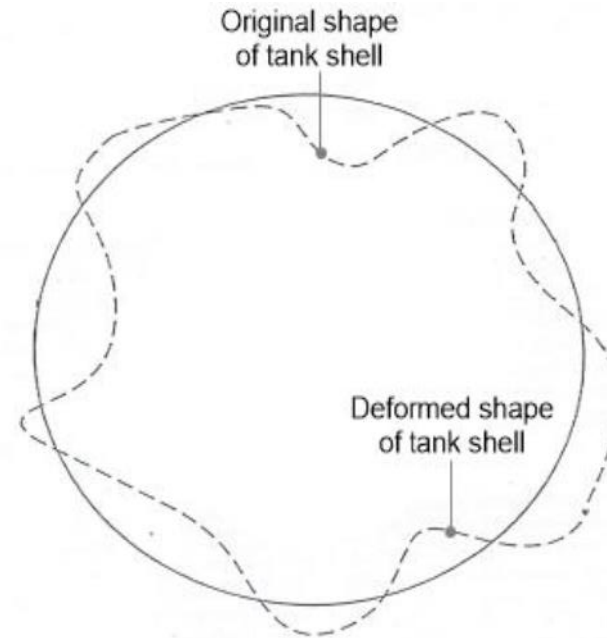


Out-of-plane deflection for Point "i" is $S_i = U_i - (1/2 U_{i-1} + 1/2 U_{i+1})$, for example $S_{11} = U_{11} - (1/2 U_{10} + 1/2 U_{12})$

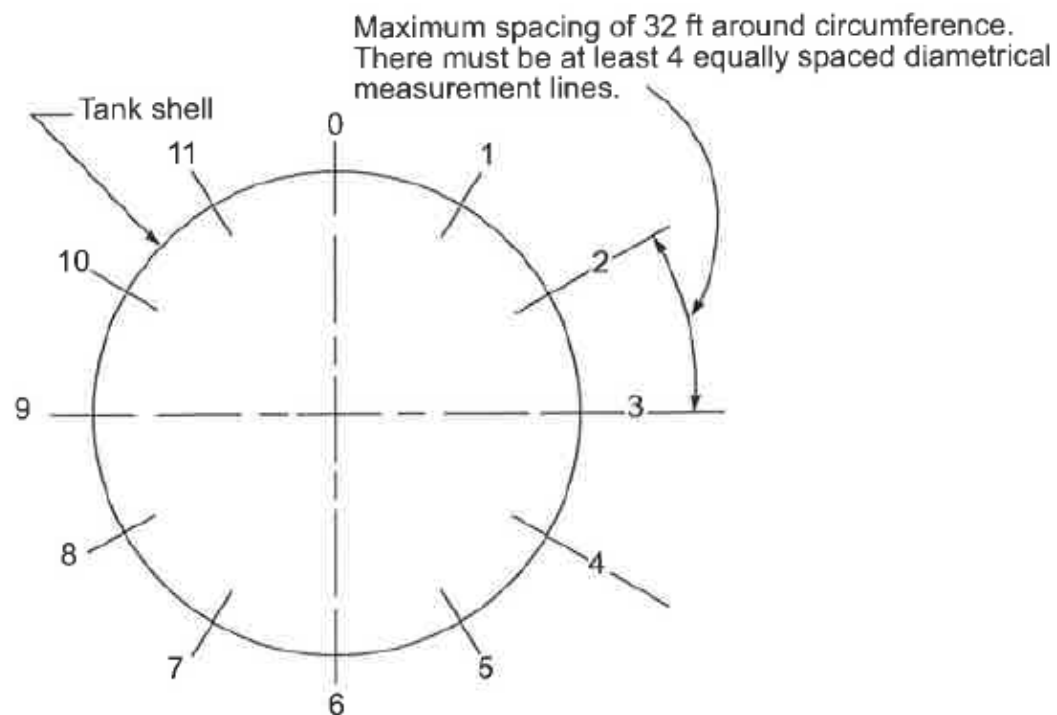
U_i = out-of-plane settlement of Point, "i"
 (+) when above cos. curve;
 (-) when below cos. curve, for example:
 $U_{11} = (+)$
 $U_{13} = (-)$

Figure B.3—Graphical Representation of Tank Shell Settlement per B.2.2.4

B.3.2.3 Serviceability may also be a concern for tanks with significant out-of-plane settlement. Out-of-roundness can impede floating roof operation and also affect internal roof support structures. The out-of-roundness that a tank experiences with out-of-plane settlement is fairly sensitive to the actual pattern of settlement. The owner may wish to specify additional inspection or a more rigorous assessment of the tank's out-of-roundness.



Verifica di planarità dell'anello periferico del fondo



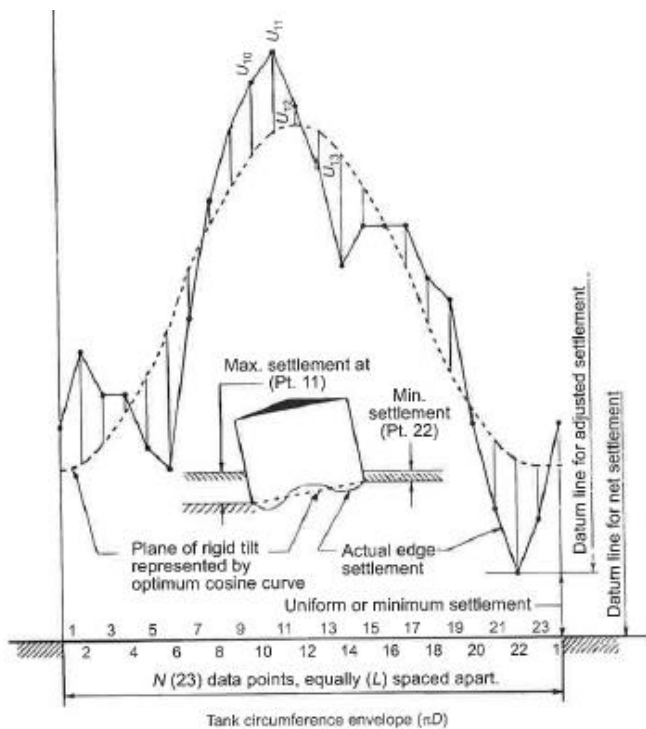
NOTE 1 There must be at least eight settlement points. The maximum spacing of the settlement points is 32 ft around the circumference.

NOTE 2 Points shall be equally spaced around the tank shell. See 12.5.1.2 for method of determining the number of measurement points.

Figure B.1—Measurements of Shell Settlement (External)

Verifica di planarità dell'anello periferico del fondo - Metodo 1

B.2.2.2 Rigid body tilting of a tank (planar tilt). This component rotates the tank in a tilted plane. The tilt will cause an increase in the liquid level and, therefore, an increase in the hoop stress in the tank shell. Also, excessive tilting can cause binding of peripheral seals in a floating roof and inhibit roof travel. This type of settlement could affect tank nozzles that have piping attached to them. Figure B.3 shows that the settled location of the tank shell, after rigid body tilt, can be represented by either a cosine or sine wave with respect to its original position in a horizontal plane.



Out-of-plane deflection for Point "i" is
 $S_i = U_i - (1/2 U_{i-1} + 1/2 U_{i+1})$, for example
 $S_{11} = U_{11} - (1/2 U_{10} + 1/2 U_{12})$

U_i = out-of-plane settlement of Point, "i"
 (+) when above cos. curve;
 (-) when below cos. curve, for example:
 $U_{11} = (+)$
 $U_{13} = (-)$

Figure B.3—Graphical Representation of Tank Shell Settlement per B.2.2.4

e) A commonly used and accepted method is to use a computer to solve for constants a , b , and c , to find the optimum cosine curve of the form:

$$Elev_{pred} = a + b \times \cos(\theta + c)$$

Where $Elev_{pred}$ is the elevation predicted by the cosine curve at angle theta. A typical starting point for a computer best-fit cosine curve is a least-square fit where a , b , and c are chosen to minimize the sum of the square of the differences between measured and predicted elevations. The optimum cosine curve is only considered valid (i.e. accurately fits the measured data) if the value R^2 is greater than or equal to 0.9.

$$R^2 = \frac{(S_{yy} - SSE)}{S_{yy}}$$

where

S_{yy} is the sum of the squares of the differences between average measured elevation and the measured elevations;

SSE is the sum of the square of the differences between the measured and predicted elevations.

B.3.2.1 When using the procedure with an optimal cosine curve approach defined in B.2.2.4 to determine out-of-plane settlement, the permissible out-of-plane settlement is given by the following equation (see Note):

$$S_{max, ft} = \frac{(L^2 \times Y \times 11)}{2[(E \times H)]}$$

where

$S_{max, ft}$ is permissible out-of-plane settlement, in feet;

L is arc length between measurement points, in feet;

Y is yield strength of the shell material, in pound force per square inch (lbf/in.²);

E is Young's Modulus, in pound force per square inch (lbf/in.²);

H is tank height, in feet.

→ Confronto tra le massime deviazioni 'curva coseno' - punti misurati e il valore limite (B.3.2.1)

Analisi dimensionali

Verifica di planarità dell'anello periferico del fondo - Metodo 2

B.2.2.5.2 If a valid cosine fit of the rigid tilt plane can be determined, but the maximum out-of-plane settlement determined in accordance with B.3.2.1 is exceeded, the procedure in B.3.2.2 may be used to evaluate the settlement. In this case, see Figure B.5 for a graphical illustration of the determination of the settlement arc length and the corresponding out-of-plane settlement.

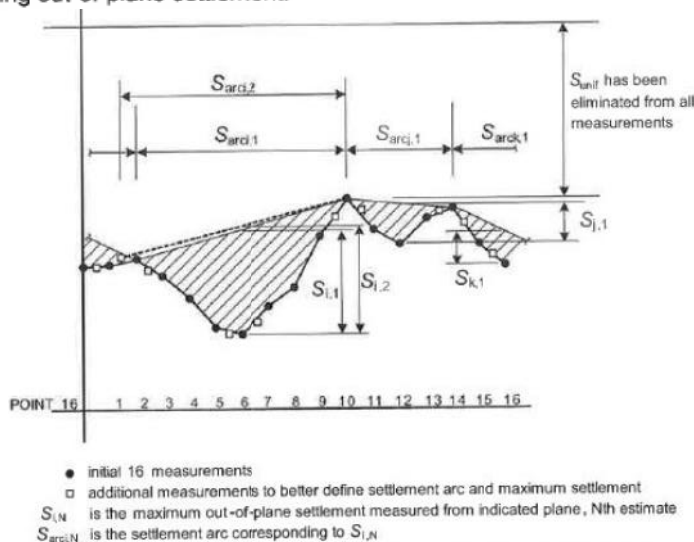


Figure B.4—Graphical Representation of Shell Settlement per B.2.2.5 (Tilt Plane Not Described by an Optimal Cosine Curve)

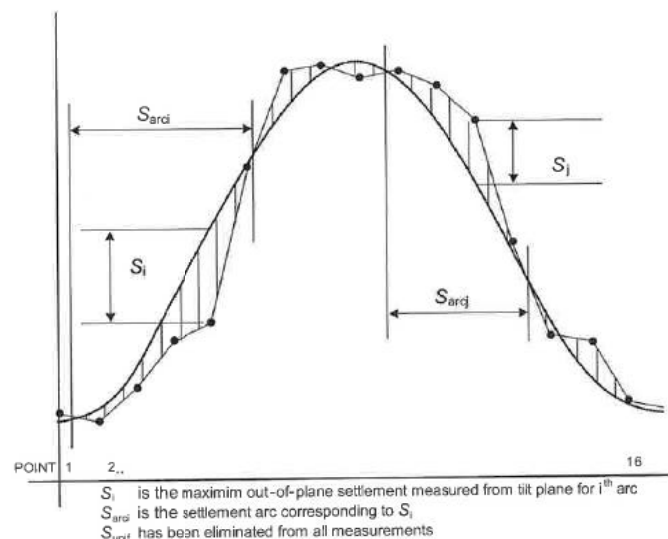


Figure B.5—Graphical Representation of Shell Settlement per B.2.2.5 (Tilt Plane Described by an Optimal Cosine Curve)

B.3.2.2 When using the procedure in B.2.2.5 to determine out-of-plane settlement, the permissible out-of-plane settlement is given by the following equation (see Note):

$$S_{max, in} = \min \left[K \times S_{arc} \times \left(\frac{D}{H} \right) \times \left(\frac{Y}{E} \right), 4.0 \right]$$

Tank Diameter ft	Open Top Tanks, K	Fixed Roof Tanks, K
$D \leq 50$	28.7	10.5
$50 < D \leq 80$	7.8	5.8
$80 < D \leq 120$	6.5	3.9
$120 < D \leq 180$	4.0	2.3
$180 < D \leq 240$	3.6	Not applicable
$240 < D \leq 300$	2.4	Not applicable
$300 < D$	Not applicable	Not applicable

where

$S_{max, in}$ is permissible out-of-plane settlement, in inches;

S_{arc} is effective settlement arc, see B.2.2.5.1, in feet;

D is tank diameter, in feet (ft);

Y is yield strength of the shell material, in pound force per square inch (lbf/in.²);

E is Young's Modulus, in pound force per square inch (lbf/in.²);

H is tank height, in feet.

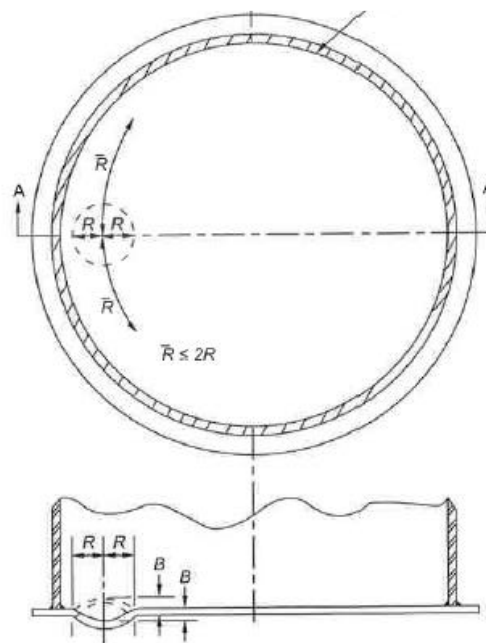
→ Confronto tra le massime deviazioni e il valore limite (B.3.2.2)

Verifica deformazioni fondo

B.2.4 Bottom Settlement Near the Tank Shell

B.2.4.1 Figure B.8 illustrates bottom settlement near the tank shell.

B.2.4.2 The equation given in B.3.3 can be used to evaluate settlement near the tank shell. Alternatively, a rigorous stress analysis can be carried out for the deformed profile.



SECTION A-A

R is the radius of inscribed circle in bulged or depressed area
 B is the settlement or depression depth or height of bulge

Figure B.8—Bottom Settlement Near Shell

B.2.5.2 Acceptability of these localized settlements is dependent on localized stresses in the bottom plate, design and quality of the lap welds (single-pass or multi-pass), and voids below the bottom plate. The equation given in B.3.3 can be used to evaluate localized settlement remote from the tank shell. These limits are applicable to tank bottoms that have single-pass lap-welded joints.

Verifica deformazioni fondo

B.2.5 Localized Bottom Settlement Remote from the Tank Shell

B.2.5.1 Localized bottom settlement remote from tank shell are depressions (or bulges) that occur in a random manner, remote from the shell (see Figure B.9).

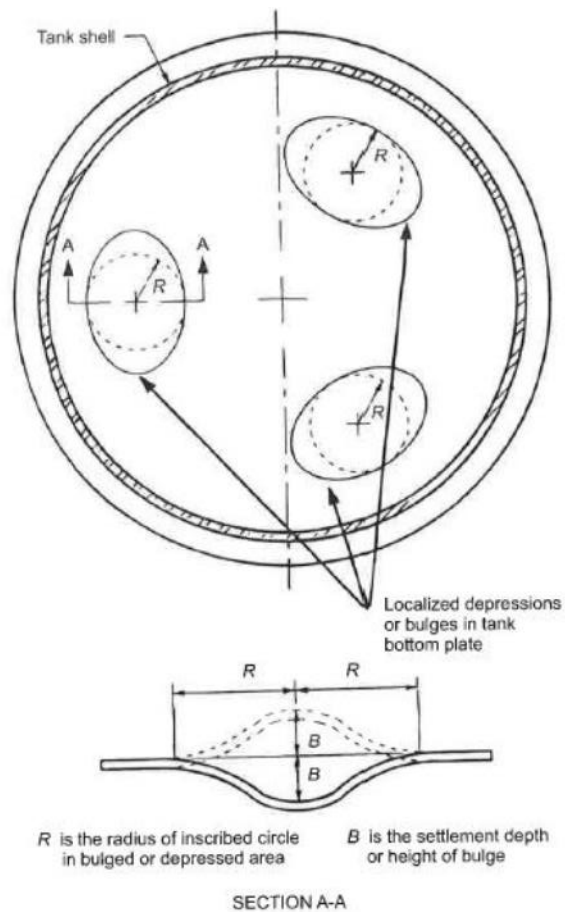


Figure B.9—Localized Bottom Depressions or Bulges Remote from Shell

Analisi dimensionali

Verifica deformazioni fondo

B.3.3 Internal Bottom Settlements or Bulges

Measure the the bulge or depression. The permissible bulge or depression is given by the following equation (see Note).

$$B_B = 0.37R$$

where

B_B is maximum height of bulge or depth of local depression, in inches;

R is radius of inscribed circle in bulged area or local depression, in feet.

Figure B.10 is a graphical representation of this equation.

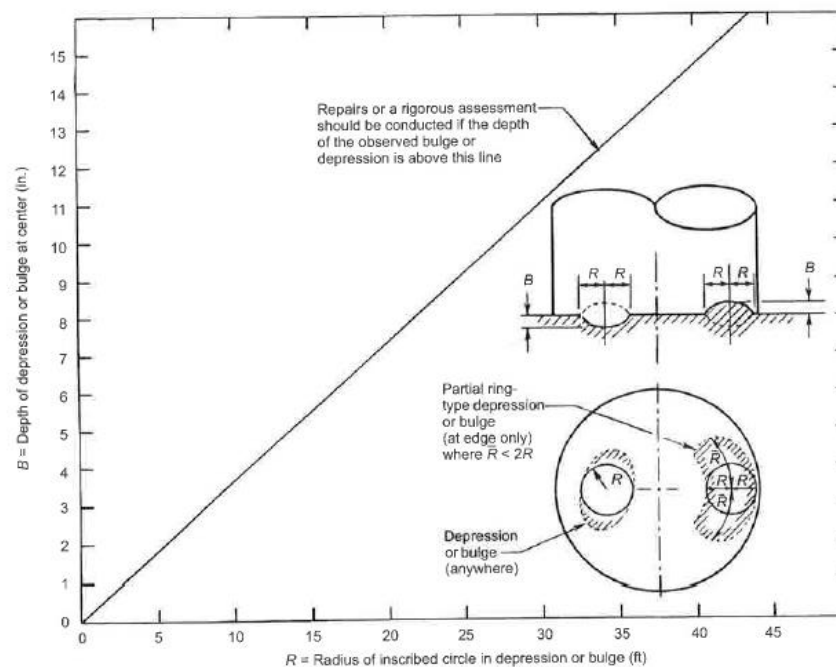
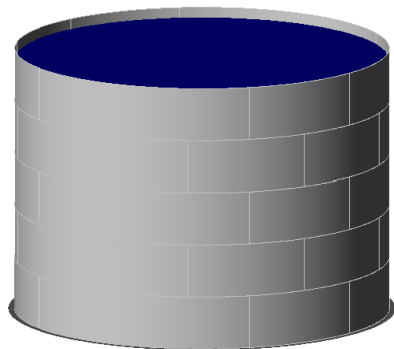


Figure B.10—Localized Tank Bottom Settlement Limits for Single Pass Welds

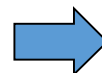
Analisi dimensionali

Verifiche dimensionali



Analisi di verticalità

Analisi mediante strumentazione tradizionale

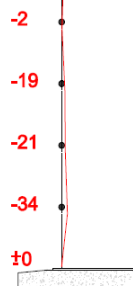


- Analisi discreta
- Rilievo in campo e analisi dati rapido, anche in campo durante lo svolgimento di operazioni manutentive

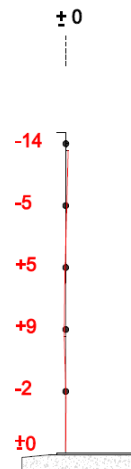
VERTICALITA'
± 0
ESTERNO SERBATOIO + - INTERNO SERBATOIO



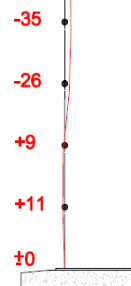
Generatrice G1



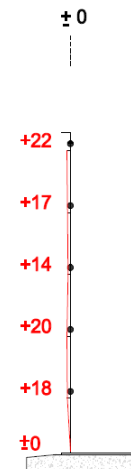
Generatrice G5



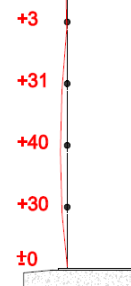
Generatrice G2



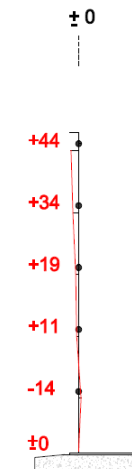
Generatrice G6



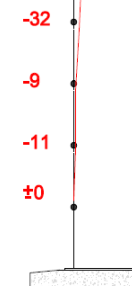
Generatrice G3



Generatrice G7



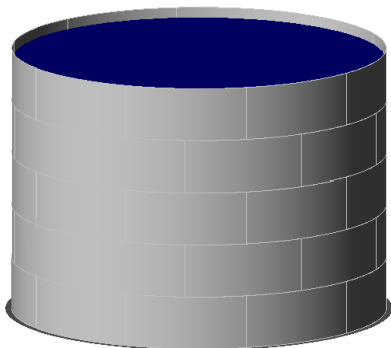
Generatrice G4



Generatrice G8

Analisi dimensionali

Verifiche dimensionali



Analisi di cilindricità

➤ Valutazione dei diametri in sommità e a quote intermedie

VALUTAZIONE DEI DIAMETRI A QUOTE SUPERIORI A +0.305 M

G1	G5	ΔD	G2	G6	ΔD	G3	G7	ΔD
44	-11	33	-14	-30	-44	22	10	32
75	-2	73	-5	-35	-40	17	3	20
-19	-19	-38	5	-26	-21	14	31	45
-17	-21	-38	9	9	18	20	40	60
-43	-34	-77	-2	11	9	18	30	48

G4	G8	ΔD
44	-48	-4
34	-32	2
19	-9	10
11	-11	0
-14	0	-14

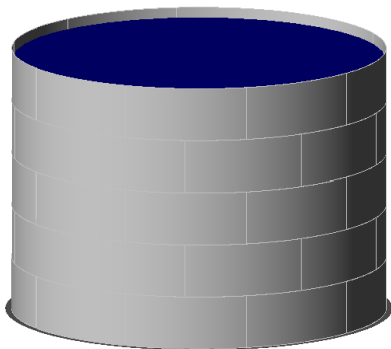
ΔD_{max}	ΔD_{min}
73	-77

Valori espressi in mm

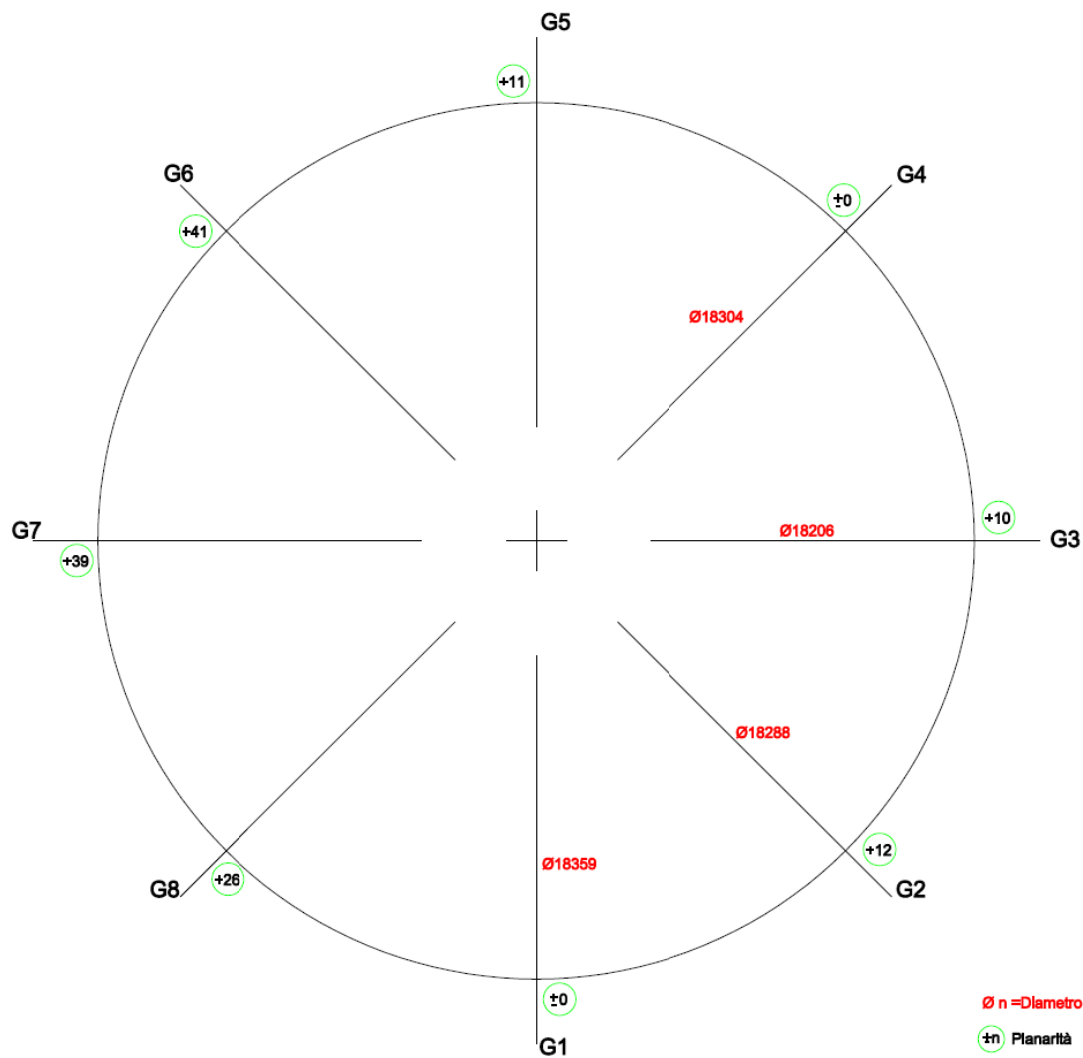


Analisi dimensionali

Verifiche dimensionali

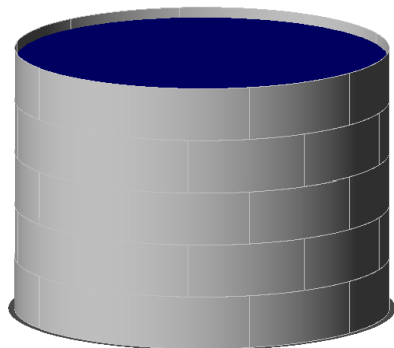


Rilievo di planarità
dell'anello periferico
del fondo

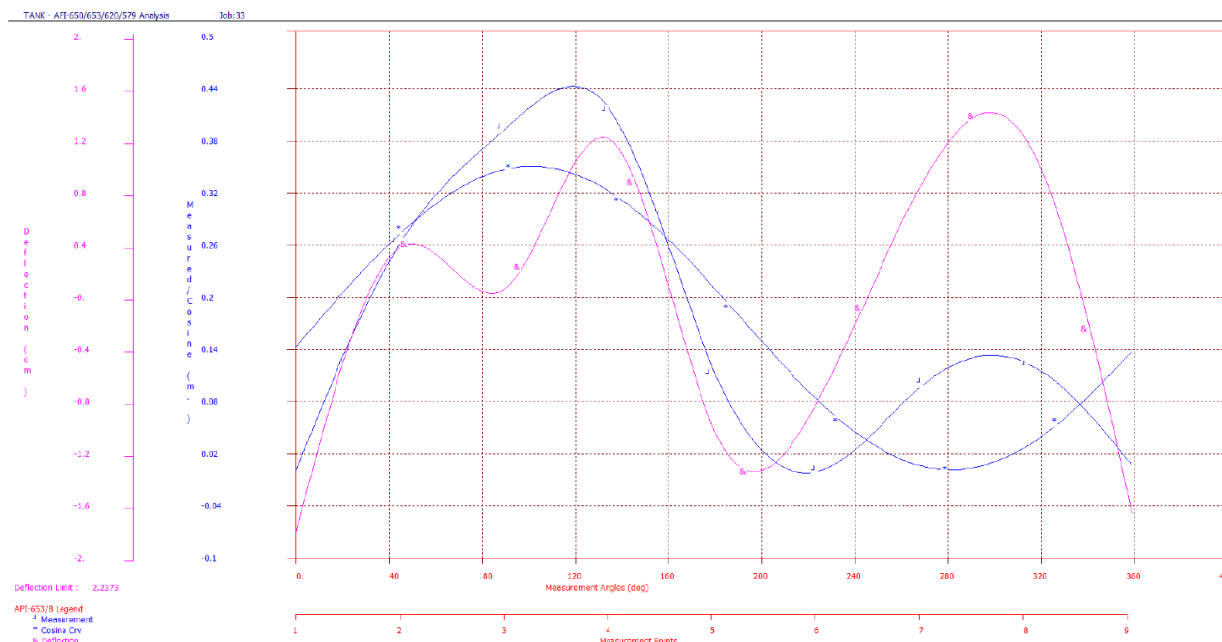


Analisi dimensionali

Verifiche dimensionali



Analisi di planarità
dell'anello periferico
del fondo e verifica
secondo API Std 653



API-653 Appendix B Shell Settlement Evaluation:

Number of points and Angle Increment 19 20.00 deg

Elevation (m.) Location Point
Maximum : 0.085 8
Minimum : 0.000 1

Maximum Allowed Out-of-Plane Deflection 3.979 cm.

Point	Angle (deg)	Elevation Value (m.)	Cosine Curve Value (m.)	----Out of Plane----- Setlmt (cm.)	Deflcn (cm.)
1	0.00	0.000	0.003	-0.266	-0.087
2	20.00	0.005	0.012	-0.655	-1.605
3	40.00	0.045	0.023	2.166	3.529
4	60.00	0.016	0.037	-2.071	-2.702
5	80.00	0.041	0.050	-0.905	0.115
6	100.00	0.062	0.062	0.025	0.447
7	120.00	0.071	0.070	0.060	-0.455
8	140.00	0.085	0.075	1.005	0.618
9	160.00	0.082	0.075	0.714	-0.032
10	180.00	0.075	0.070	0.486	0.197
11	200.00	0.060	0.061	-0.135	0.050
12	220.00	0.041	0.050	-0.856	-0.379
13	240.00	0.028	0.036	-0.819	-0.148
14	260.00	0.018	0.023	-0.485	-0.168
15	280.00	0.013	0.011	0.185	0.103
16	300.00	0.009	0.003	0.650	0.255
17	320.00	0.004	-0.002	0.605	0.132
18	340.00	0.001	-0.002	0.296	0.127
19	360.00	0.000	0.003	-0.266	-0.087

TANK(TM) Intergraph CADWorx & Analysis Solutions, Inc. 2017



Laser Scanner – Possibili utilizzi del rilievo

Laser Scanner: sistema di misurazione che consente il rilevamento di modelli tridimensionali di oggetti attraverso la misura della posizione di punti nello spazio

Operazioni di lavoro:

Rilievo in campo



Generazione nuvola di punti complessiva



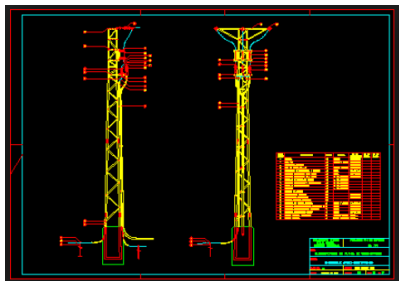
Editing del rilievo



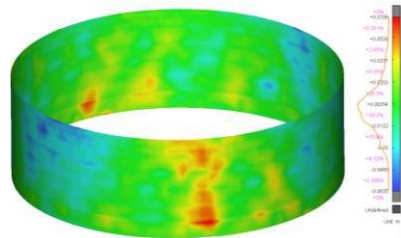
Eventuale ricostruzione tridimensionale delle superfici scansionate



Elaborati grafici



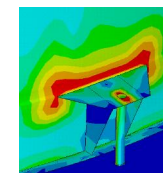
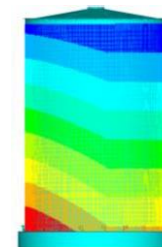
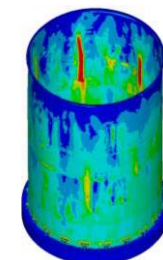
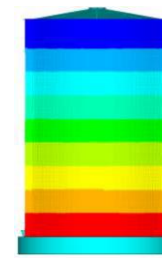
Analisi deformazioni



Verifiche dimensionali



Analisi strutturali mediante software di analisi FEM



Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

Pianificazione della scansione

In funzione della dimensione del serbatoio, degli ostacoli presenti nel campo visivo e della distanza dalle superfici alla quale è possibile effettuare la scansione



➔ Definizione del numero/posizionamento delle stazioni di rilievo

Passerella di coronamento



Bacino in c.a.

Scala elicoidale

Tubazioni IN-OUT

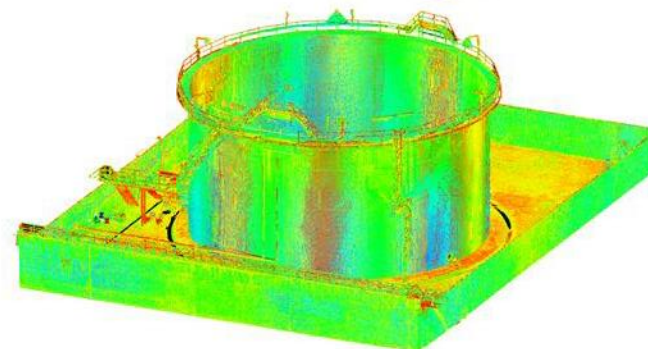
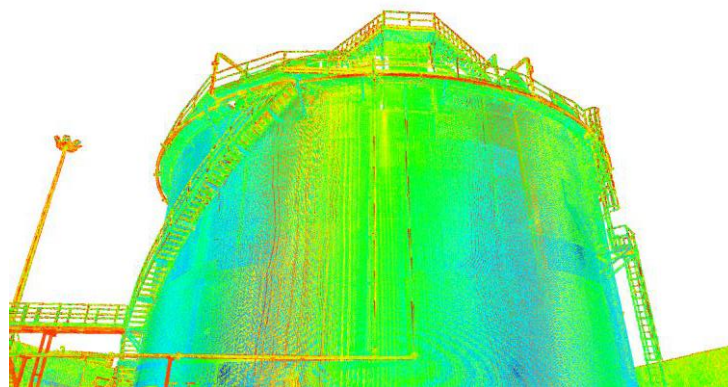
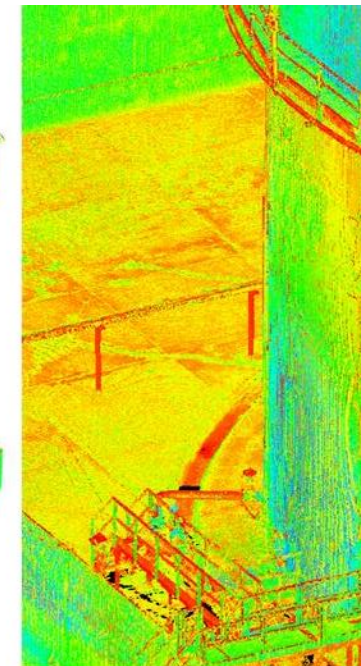
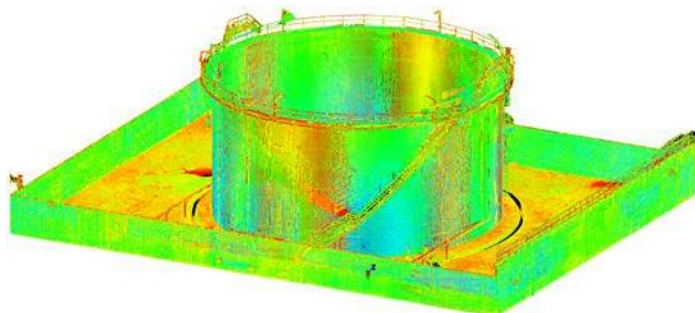
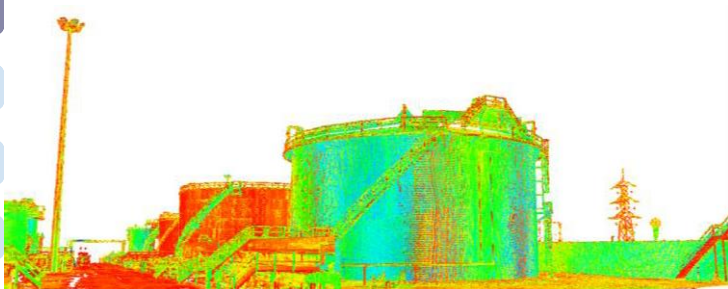


Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

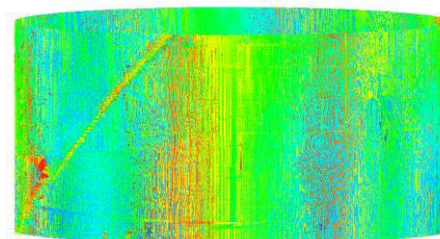
Acquisizione sequenziale nuvole di punti parziali + target points



Unione nuvole di punti e generazione della nuvola di punti complessiva



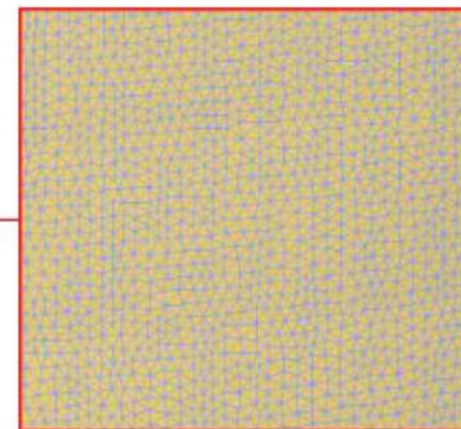
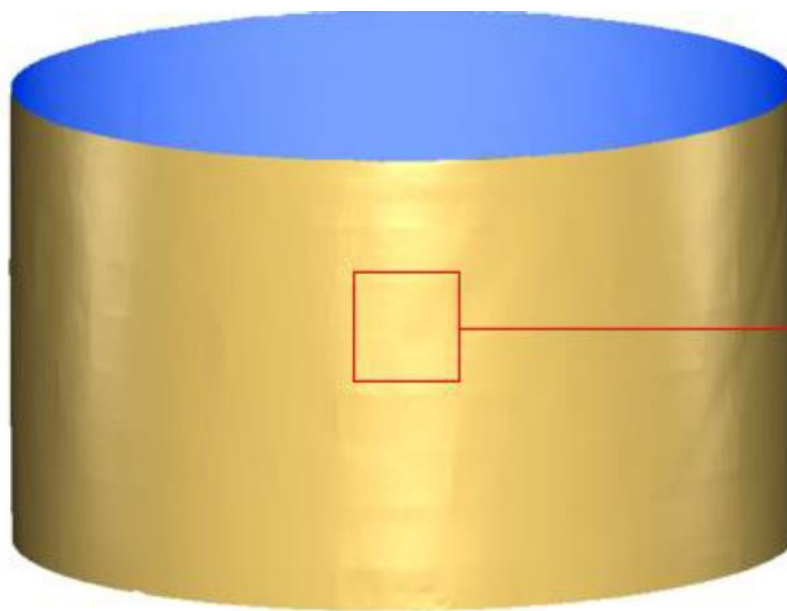
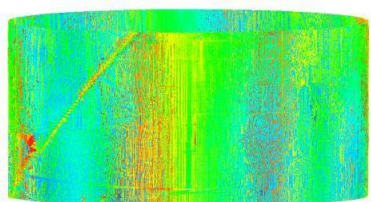
Isolare il sottoinsieme nuvola di punti relativo al solo mantello e trincarino



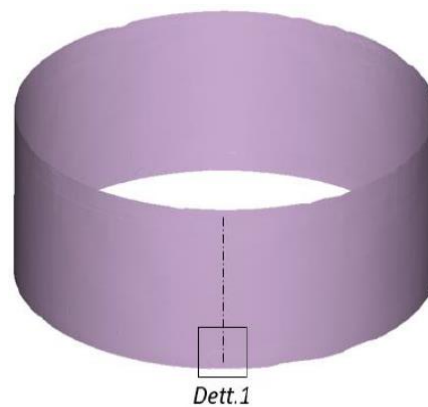
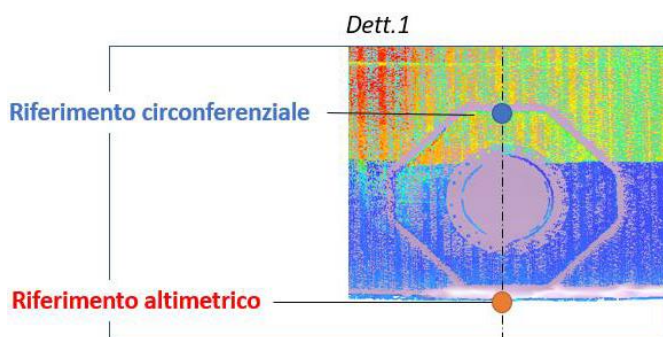
Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

Superficie 3D

Sottoinsieme nuvola di punti



Dettaglio mesh



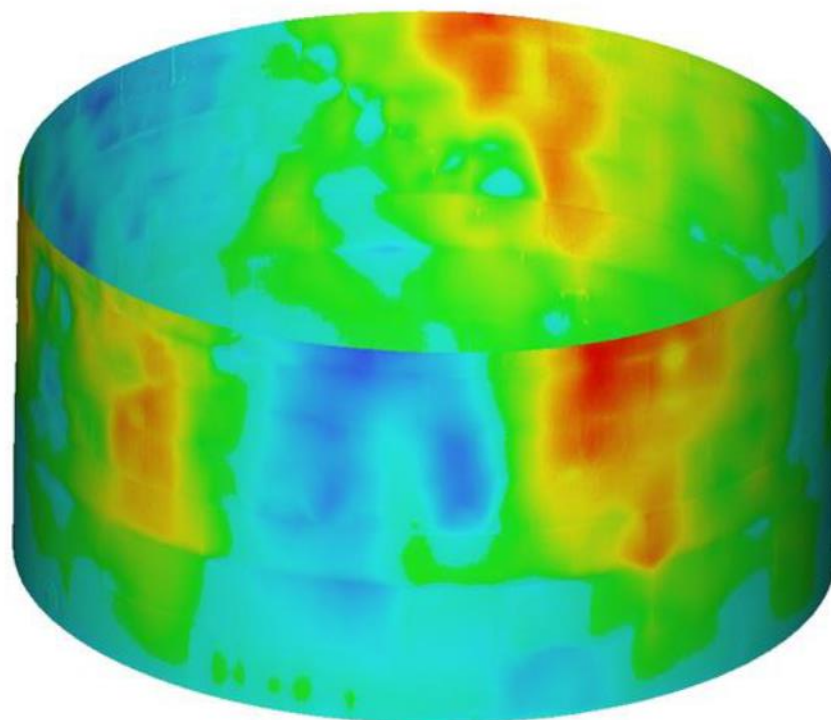
Dett.1



Analisi geometrica della superficie rilevata:
Configurazione ideale
↕
Geometria rilevata

Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

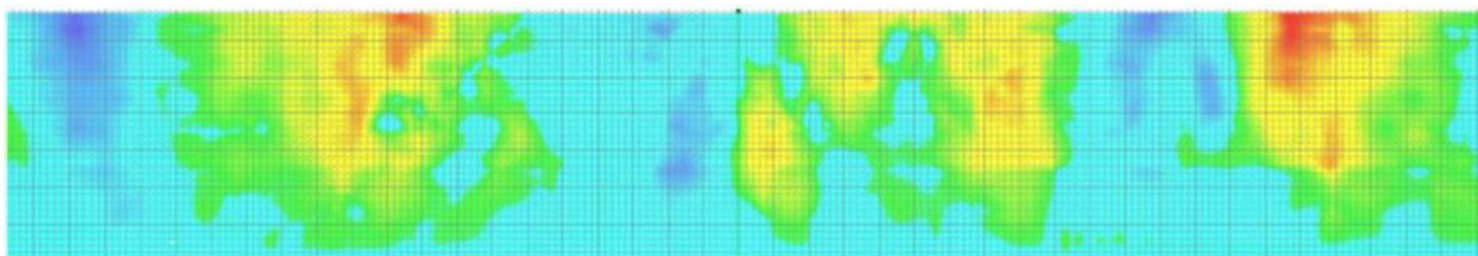
Scostamenti
geometrici rilevati



Vista 3D

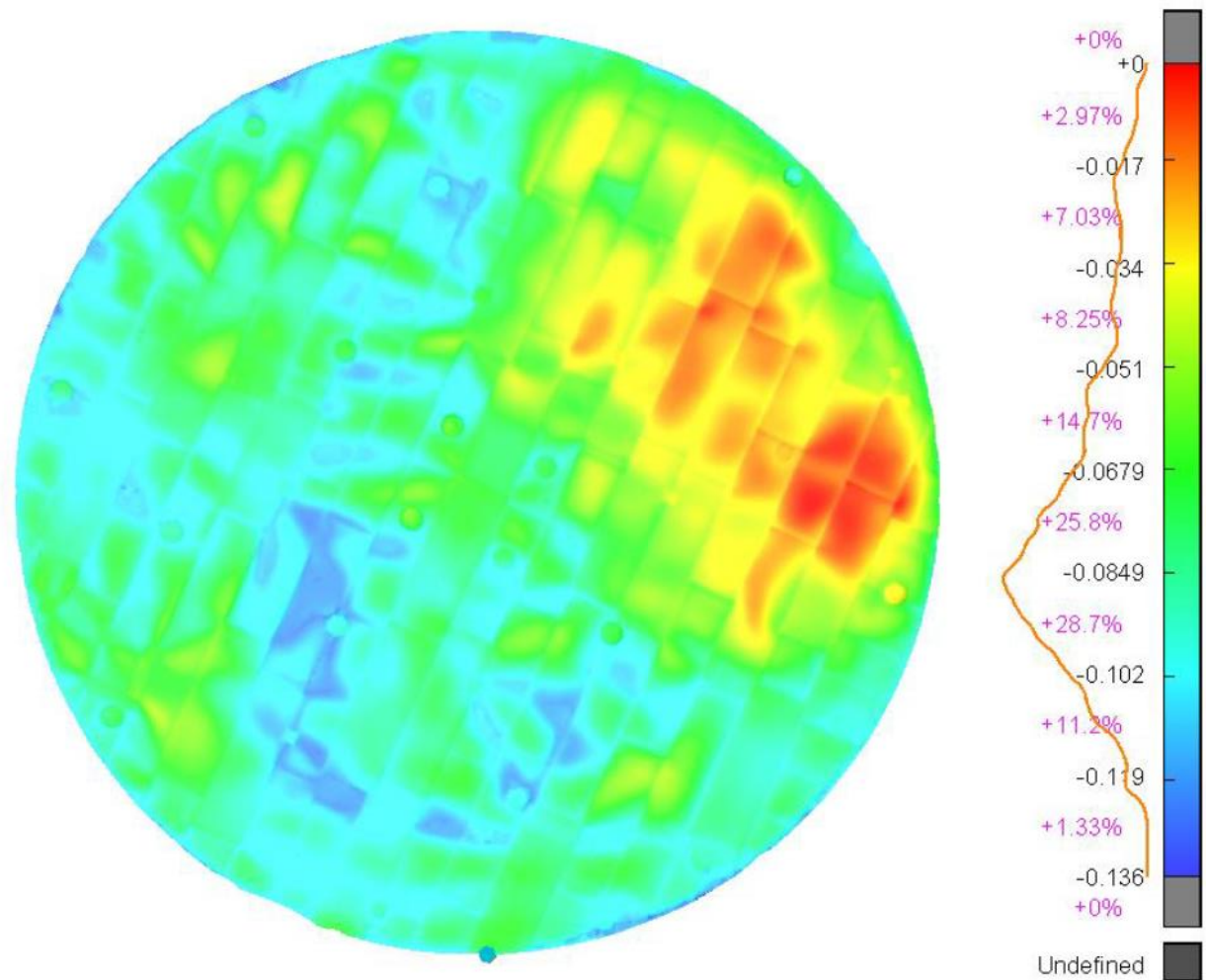


Caratterizzazione
configurazione
geometrica
effettiva



Vista 2D

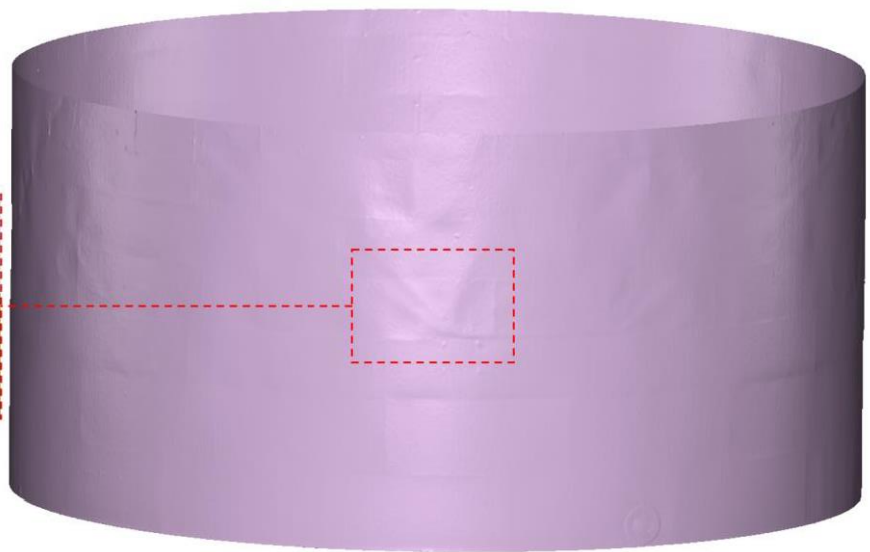
Mappatura scostamenti geometrici dalla configurazione di progetto



Scostamenti geometrici (scostamento minimo rilevato in corrispondenza della zona maggiormente depressa, pari a -0.136 m rispetto alla zona a quota superiore)

Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

Dettaglio 1



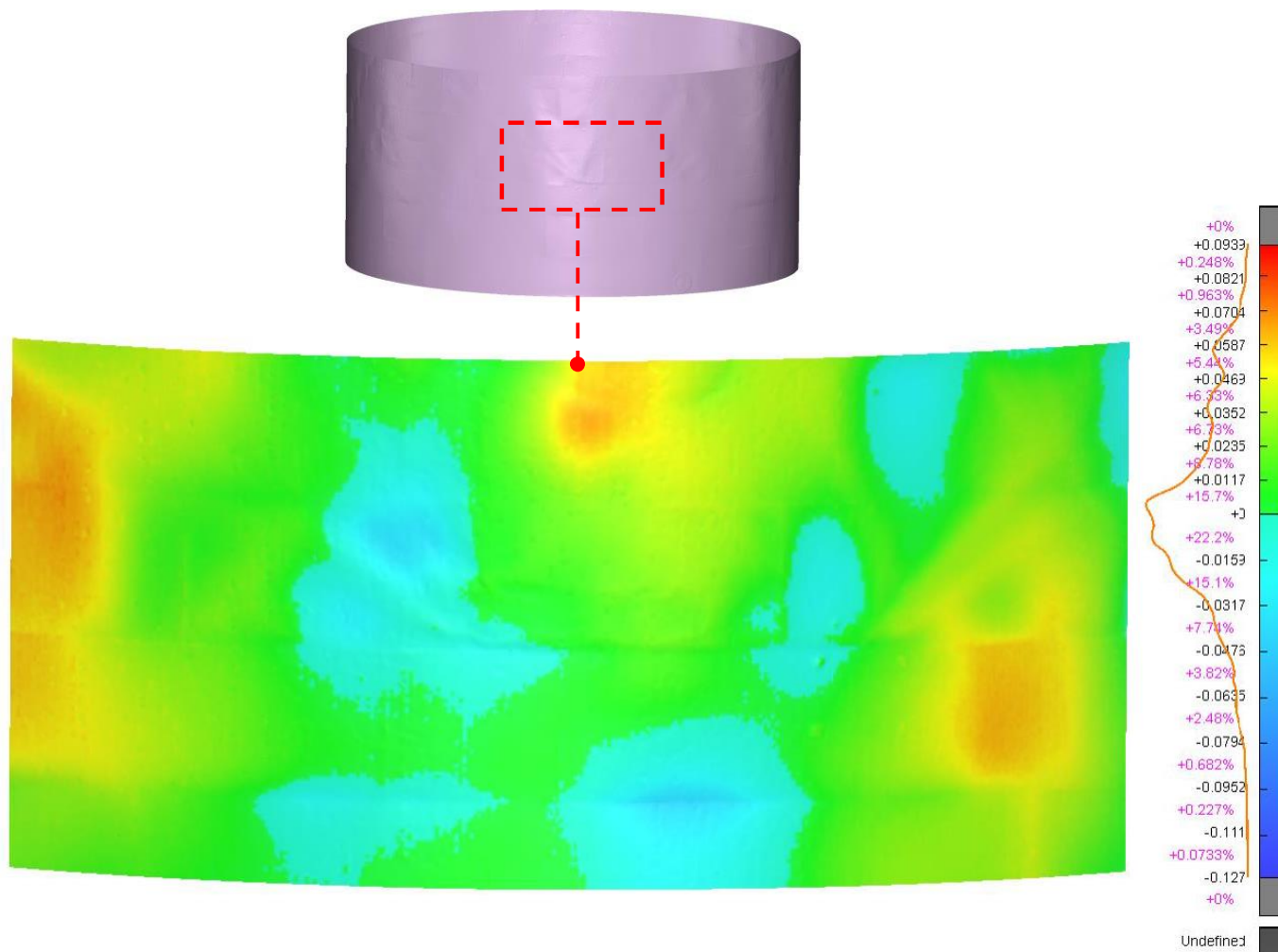
Dettaglio 2



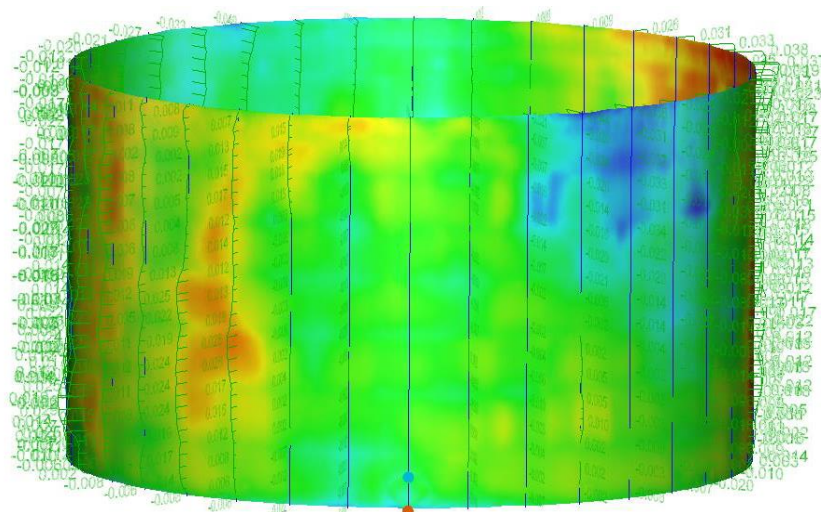
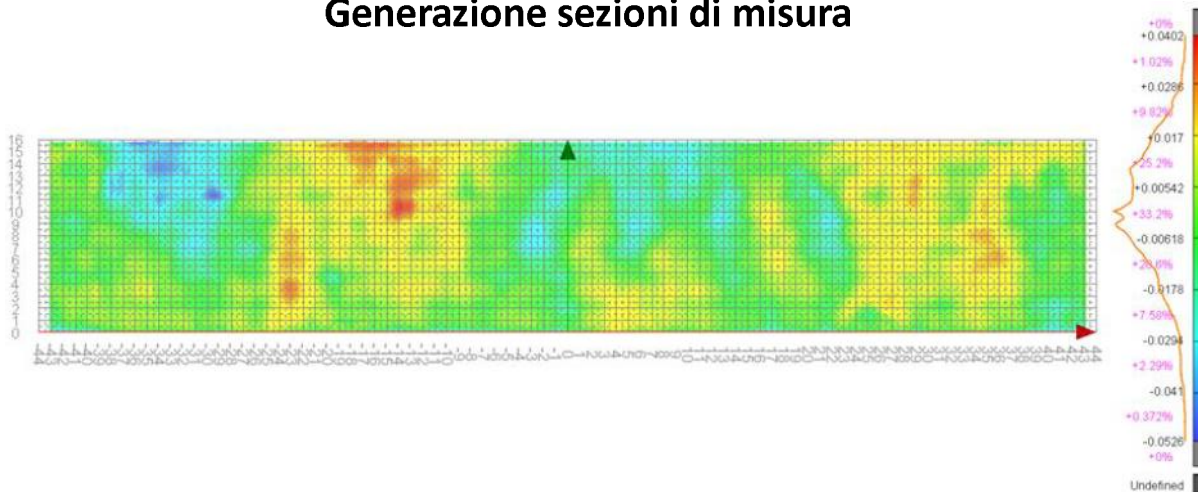
Individuazione deformazioni



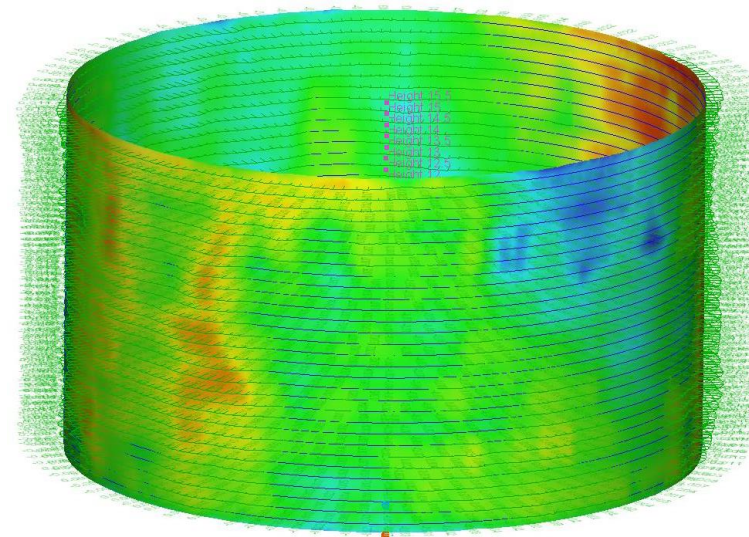
Zona del mantello in corrispondenza
dei Dettagli 1 e 2 (zone adiacenti alla scala alla marinara)



Generazione sezioni di misura

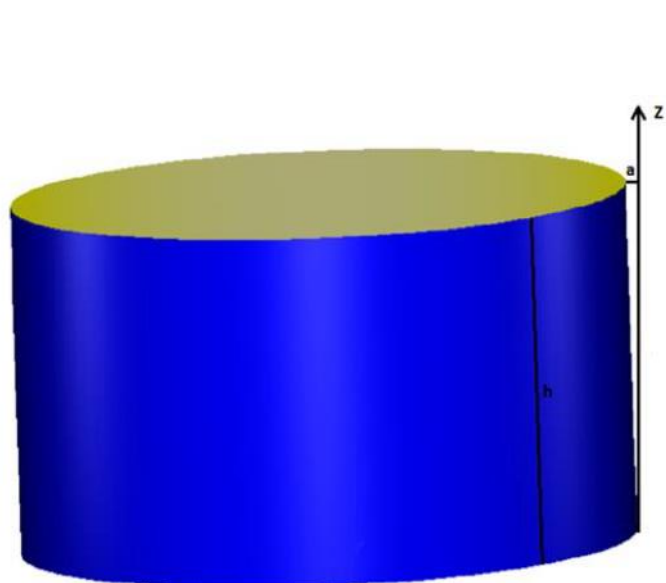


Sezioni verticali

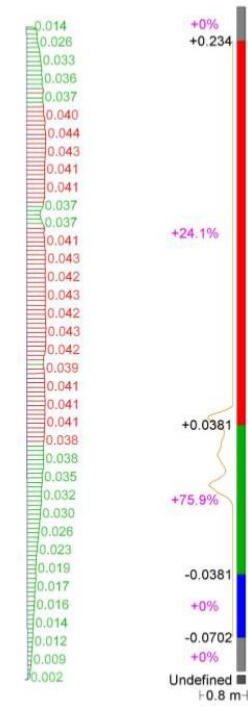
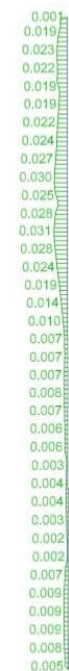
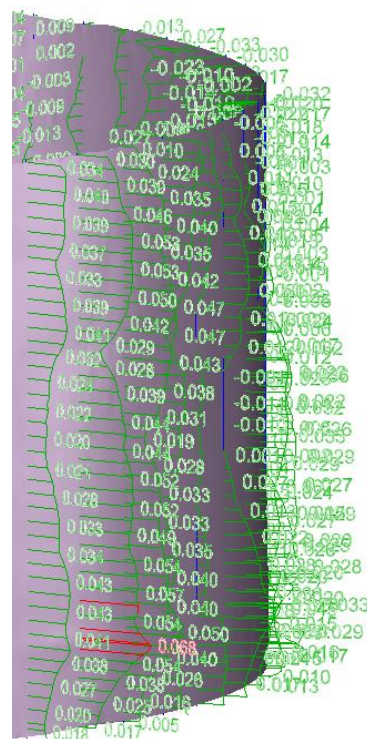


Sezioni perpendicolari all'asse del serbatoio

Verifica di verticalità



Verifica inclinazione rigida del serbatoio



Sezioni longitudinali

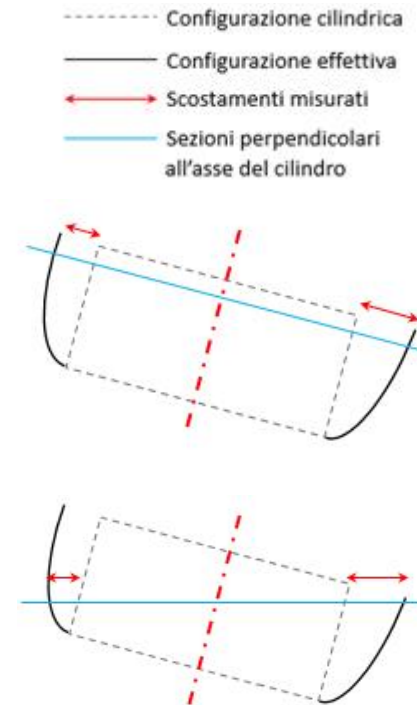
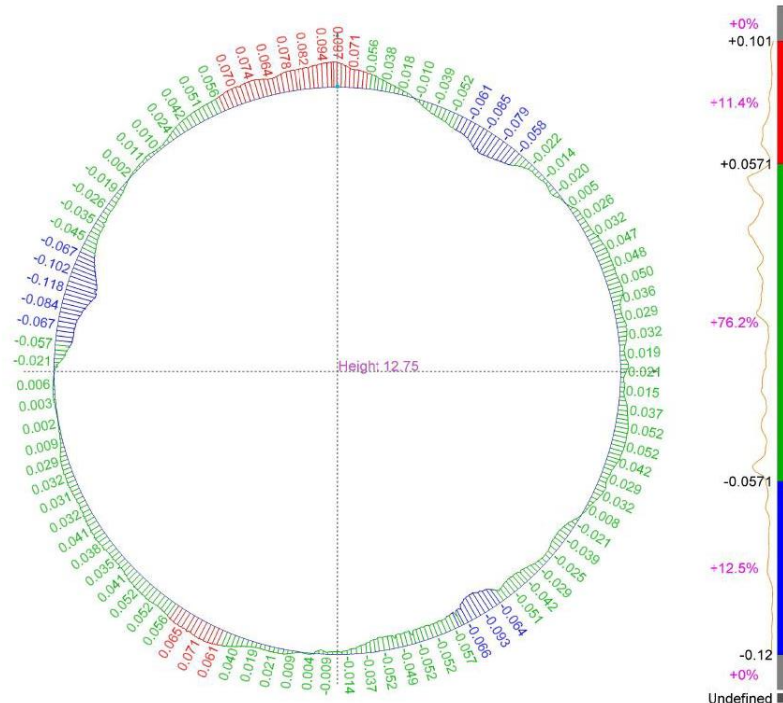
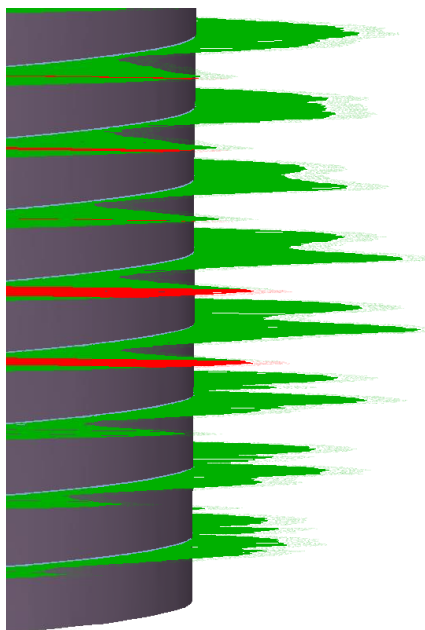
Scostamenti
rilevati



Valore limite
(API Std 653)
 $f(H)$



Verifica di cilindricità



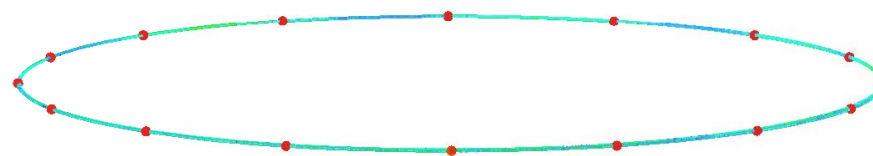
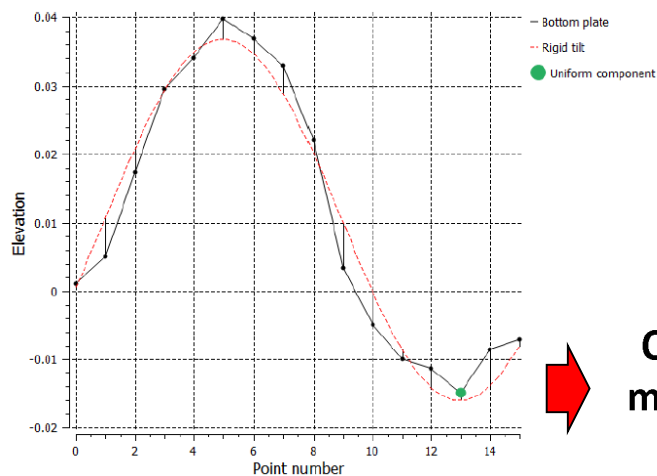
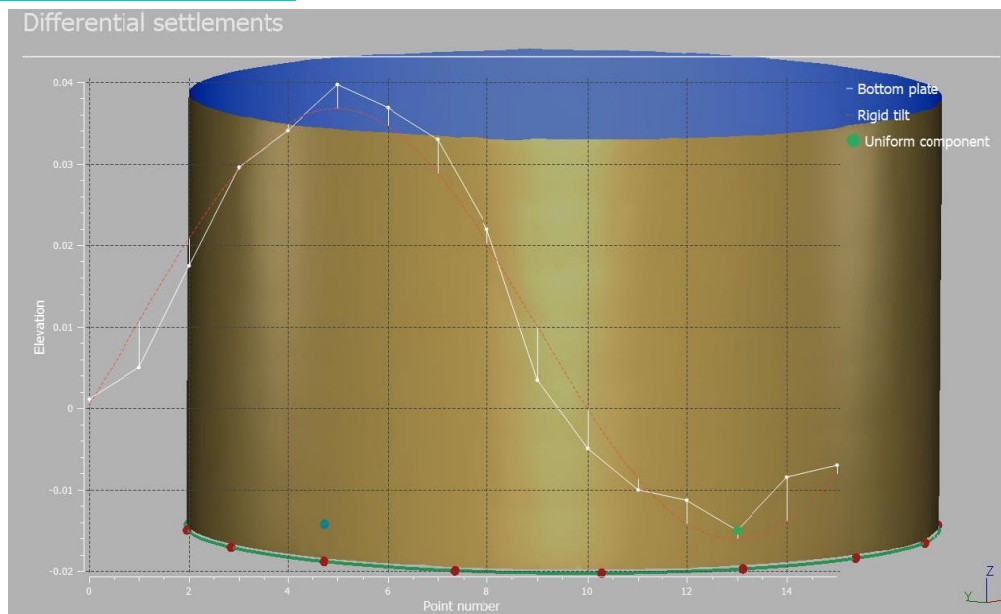
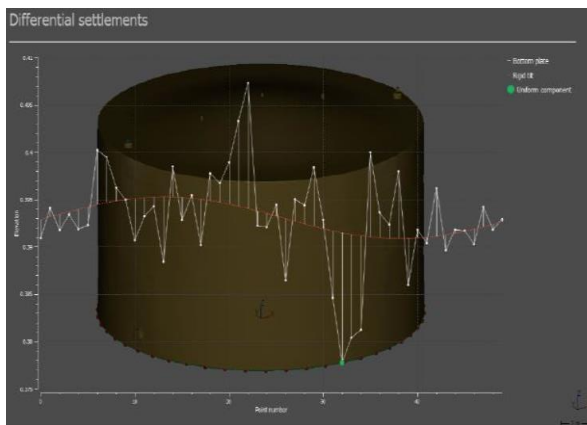
Sezioni trasversali

Verifica dell'ovalizzazione del mantello/deformazioni localizzate; le sezioni trasversali possono essere costruite sia in direzione perpendicolare all'asse del serbatoio che in direzione perfettamente orizzontale

Scostamenti rilevati ↔ Valori limite (API Std 653) $f(D)$

Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

Verifica di planarità dell'anello periferico del fondo

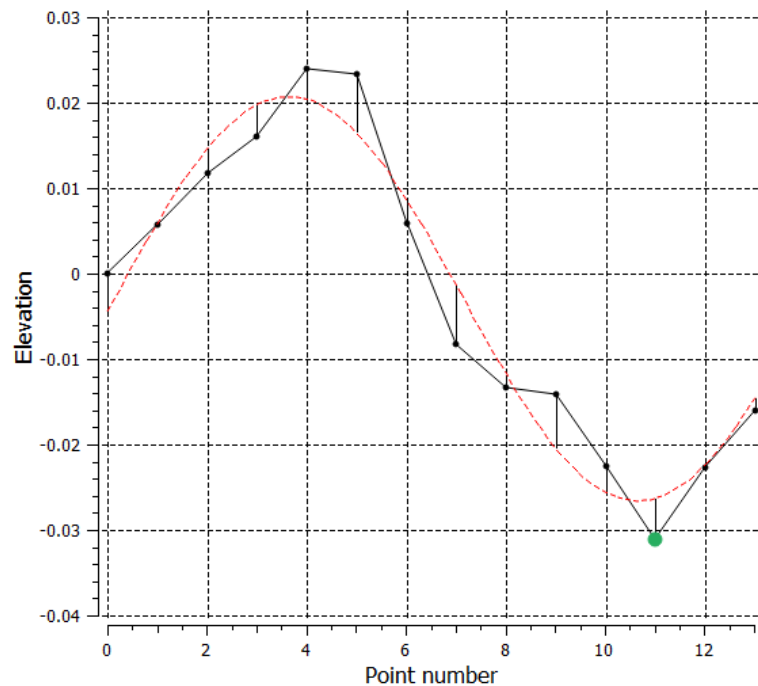


Valutazione cedimenti sugli n-punti di misura

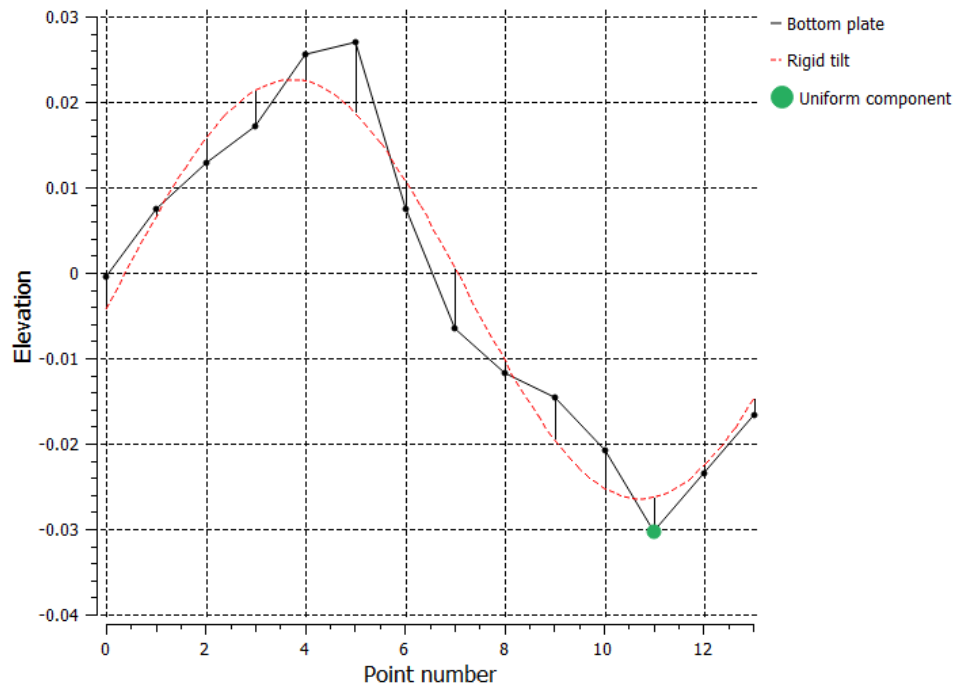
Confronto tra le massime deviazioni 'curva coseno' - punti misurati e il valore limite valutato in accordo ad API Std 653 per il serbatoio in esame

Monitoraggio dei cedimenti:

valutazione eventuali variazioni dei cedimenti in funzione del livello di riempimento presente

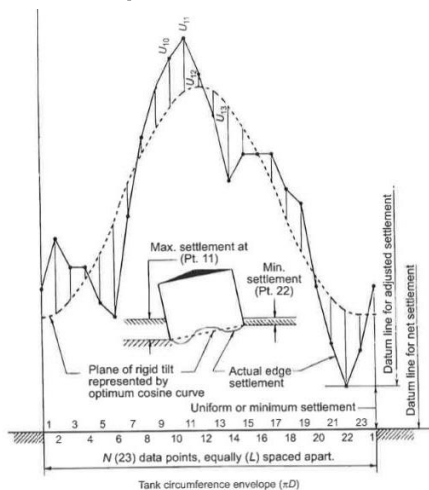


Serbatoio vuoto



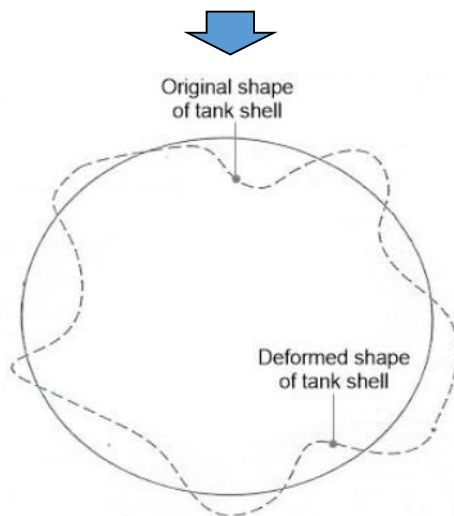
Serbatoio pieno

“Out of plane settlement”

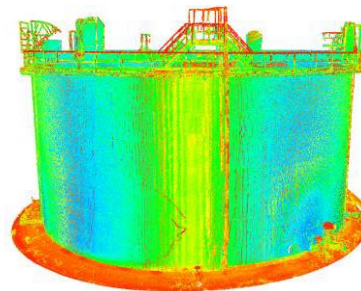


Out-of-plane deflection for Point "i" is $S_i = U_i - (1/2 U_{i-1} + 1/2 U_{i+1})$, for example $S_{11} = U_{11} - (1/2 U_{10} + 1/2 U_{12})$
 U_i = out-of-plane settlement of Point, "i"
 (+) when above cos. curve;
 (-) when below cos. curve, for example:
 $U_{11} = (+)$
 $U_{13} = (-)$

Figure B.3—Graphical Representation of Tank Shell Settlement per B.2.2.4



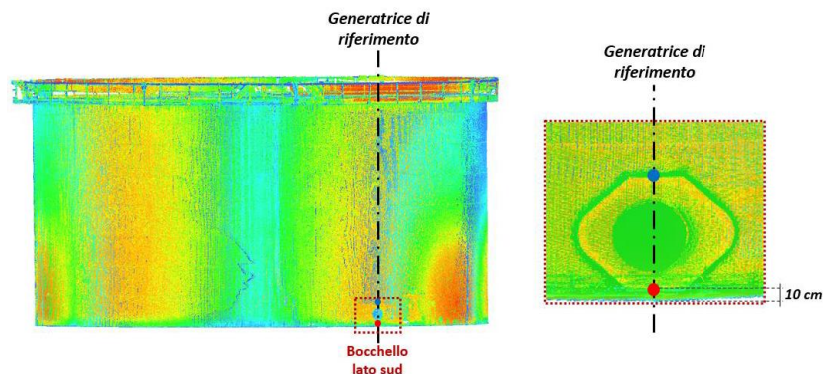
Simulazione per la determinazione delle cause delle deformazioni individuate



Nuvola di punti



Superficie 3D del mantello

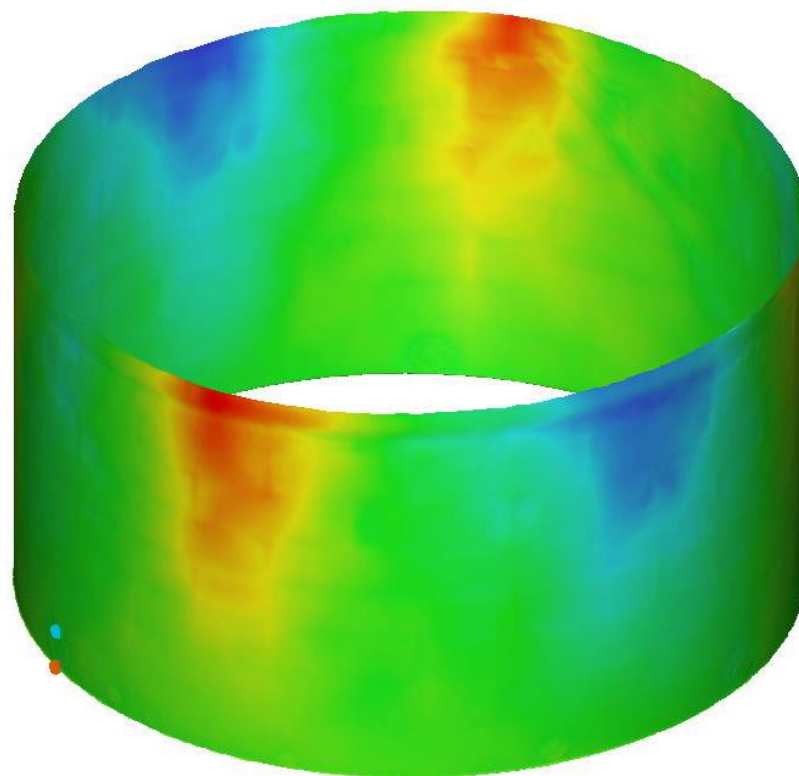


- Verifica di verticalità
- Verifica di cilindricità
- Verifica di planarità dell’anello periferico del fondo

“Out of plane settlement”



Simulazione per la determinazione delle cause delle deformazioni individuate



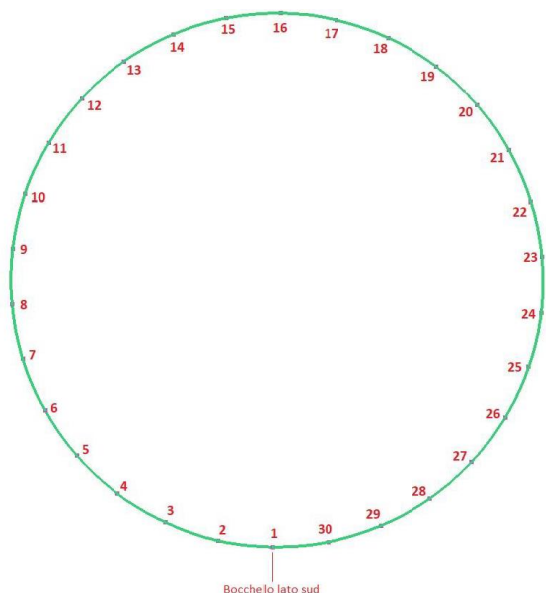
Scostamento del fasciame cilindrico dalla configurazione ideale

Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

“Out of plane settlement”



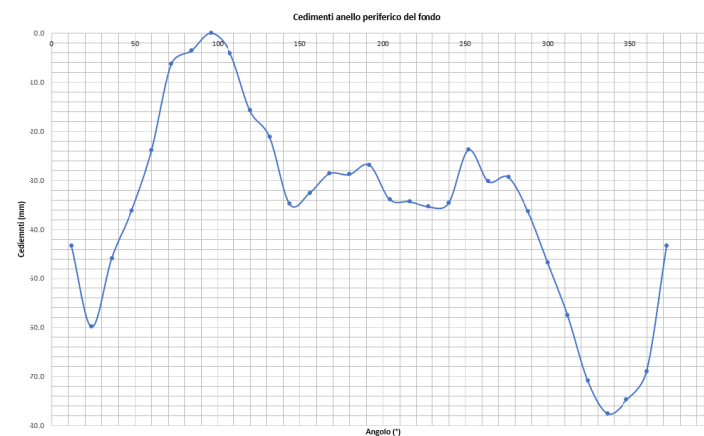
Simulazione per la determinazione delle cause delle deformazioni individuate



Punti di misura dei cedimenti

Punto	Angolo [gradi]	Cedimenti [mm]
P1	12	43
P2	24	60
P3	36	46
P4	48	36
P5	60	24
P6	72	6
P7	84	4
P8	96	0
P9	108	4
P10	120	16
P11	132	21
P12	144	35
P13	156	33
P14	168	29
P15	180	29
P16	192	27
P17	204	34
P18	216	34
P19	228	35
P20	240	35
P21	252	24
P22	264	30
P23	276	29
P24	288	36
P25	300	47
P26	312	58
P27	324	71
P28	336	77
P29	348	75
P30	360	69

Entità dei cedimenti rilevati



Rappresentazione dei cedimenti rilevati

Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

“Out of plane settlement”



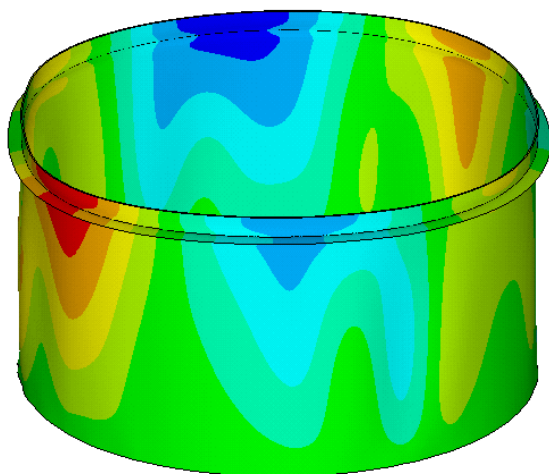
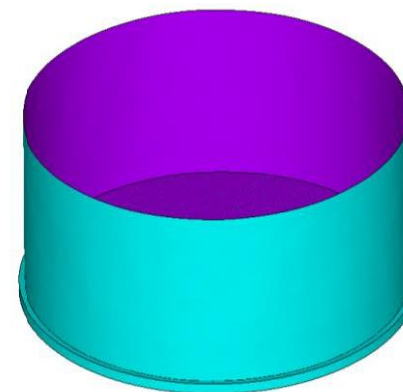
Simulazione per la determinazione delle cause delle deformazioni individuate

Deformazioni rilevate
plausibilmente generate
da cedimenti alla base

Costruzione modello
strutturale ad elementi finiti

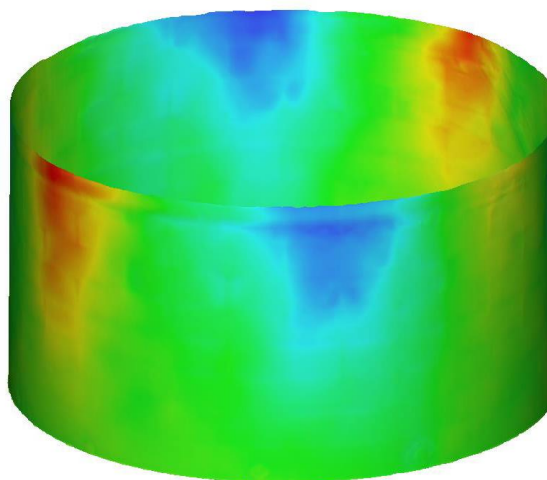


Applicazione dei cedimenti
rilevati nel corso del
controllo dimensionale



-166.883 -129.965 -93.0484 -56.1313 -19.2143 17.7028 54.6198 91.5369 128.454 165.371

Scostamenti sul fasciame rilevati nel corso del rilievo dimensionale



Scostamenti sul fasciame ottenuti dalla simulazione



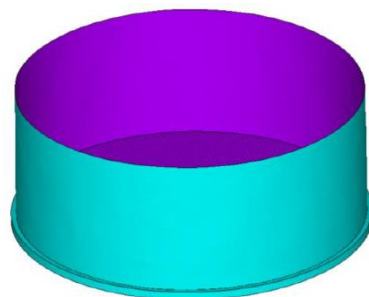
Rettifica
assetto del
serbatoio

Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

Verifica strutturale del fasciame cilindrico nei riguardi del collasso plastico



Modello geometrico 3D

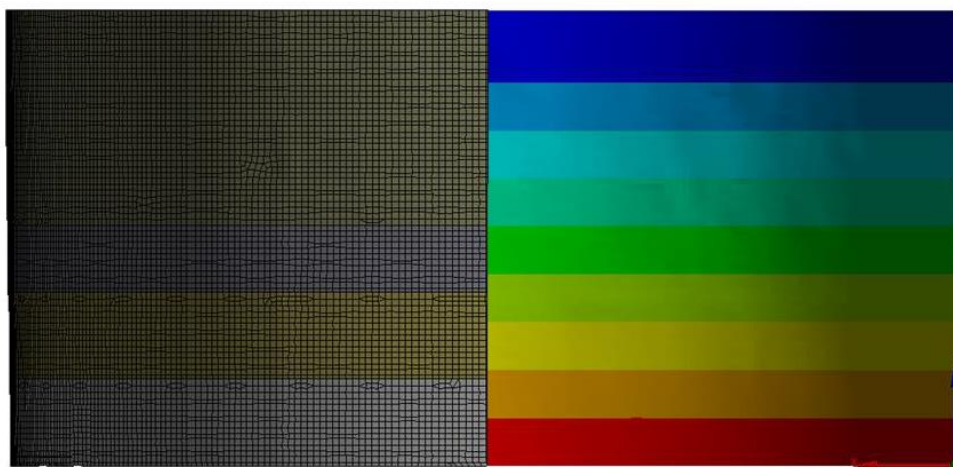


Modello strutturale ad elementi finiti

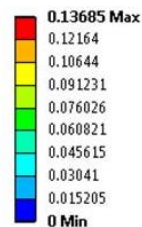
- *Costruzione del modello numerico strutturale: modellazione superficie 3D del mantello rilevata + trincarino + fondo (elementi SHELL), modellazione fondazione (elementi SOLID)*
- *Applicazione delle caratteristiche meccaniche del materiale*
- *Suddivisione del mantello in virole*
- *Adozione spessori residui rilevati durante i controlli sui diversi componenti*
- *Simulazione del contatto fondazione – fondo*

Mesh strutturale

Carico idrostatico



Distribuzione pressione idrostatica (MPa)

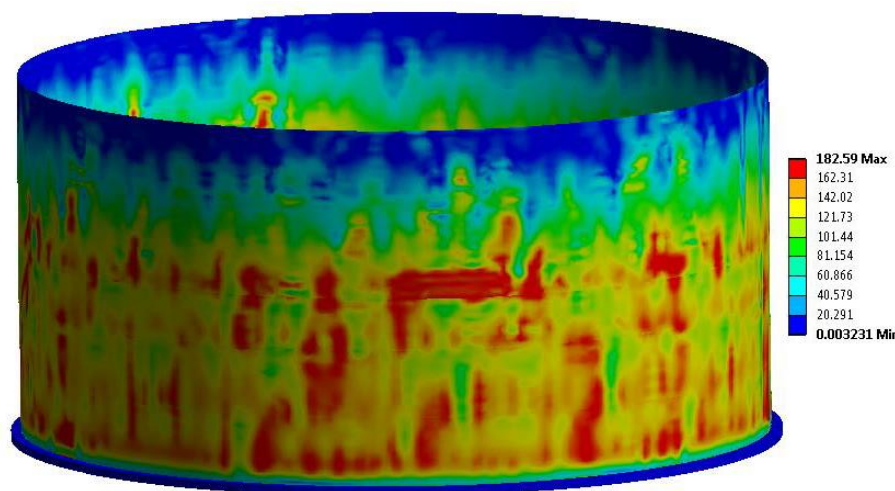


- *Caratteristiche del fluido stoccato*
- *Altezza massima di riempimento prevista*

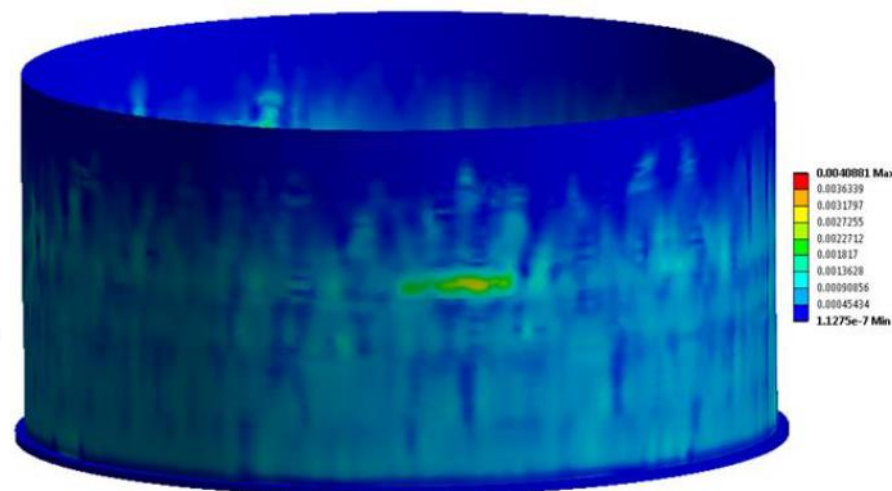
Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

Verifica strutturale del fasciame cilindrico nei riguardi del collasso plastico

Verifica al collasso plastico: criteri indicati in API 579-1/ASME FFS-1-“Fitness-for Service”, par. 2D.2
“Limit-Load Analysis Method”



Distribuzione tensione eq. Von Mises (MPa)

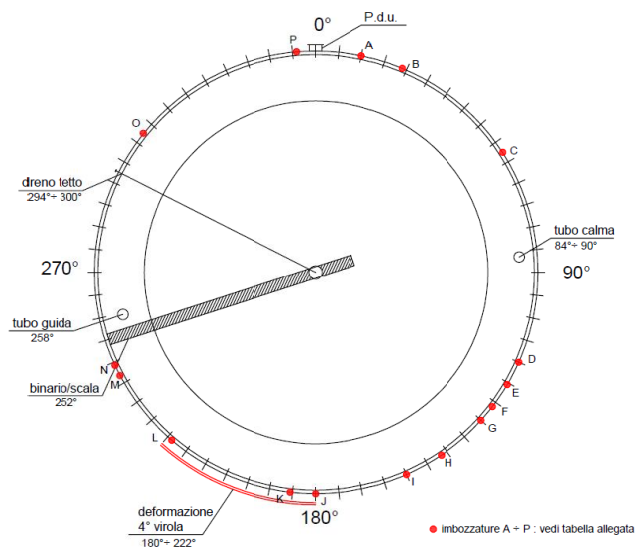


Distribuzione deformazione eq. Von Mises

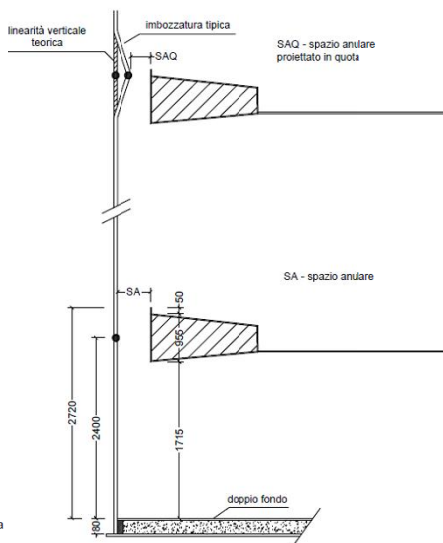
→ Verifica superata: raggiunta una configurazione congruente ed
equilibrata, con valori contenuti della deformazione massima

Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

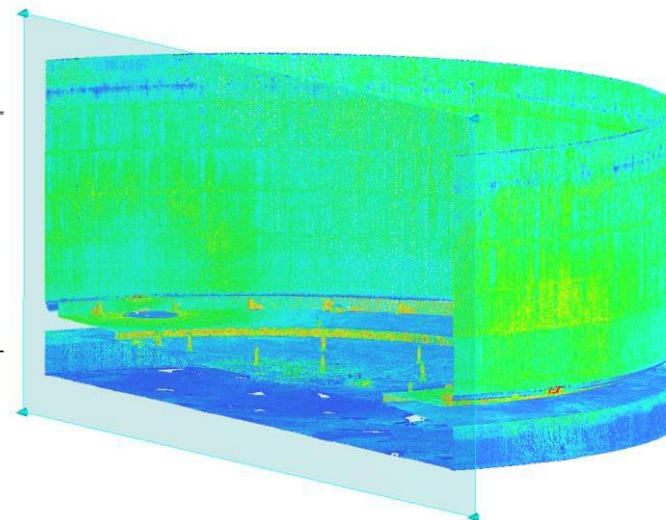
Verifica funzionalità del tetto: verifica spazio anulare tetto – mantello a tutti i livelli di galleggiamento



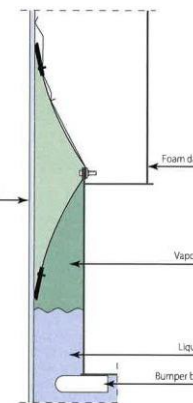
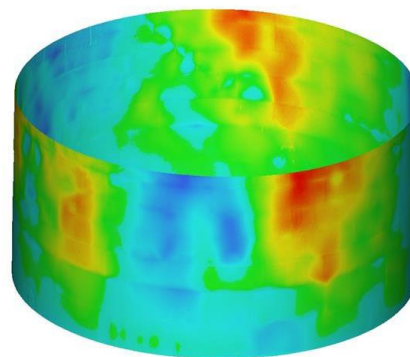
Schema misura spazio anulare (approfondimento in corrispondenza delle zone soggette a imbozzature)



*"SA" = spazio anulare
"SAQ" = spazio anulare proiettato in quota*



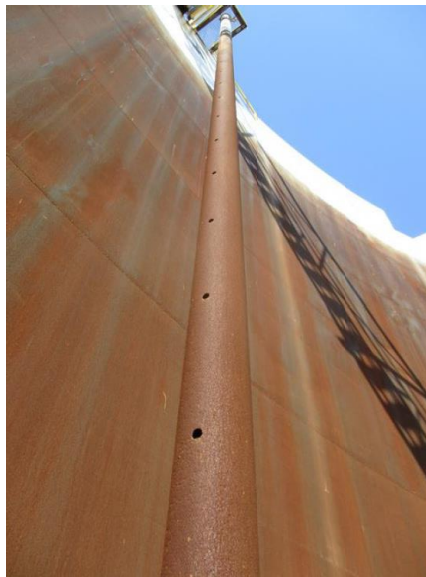
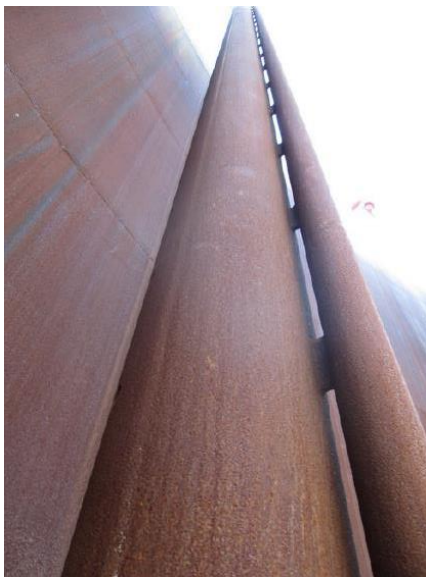
Verifica compatibilità del nuovo sistema contenimento vapori con le deformazioni rilevate e verifica della nuova posizione dei respingenti ("bumpers")



emulazione eemplicata interna

Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

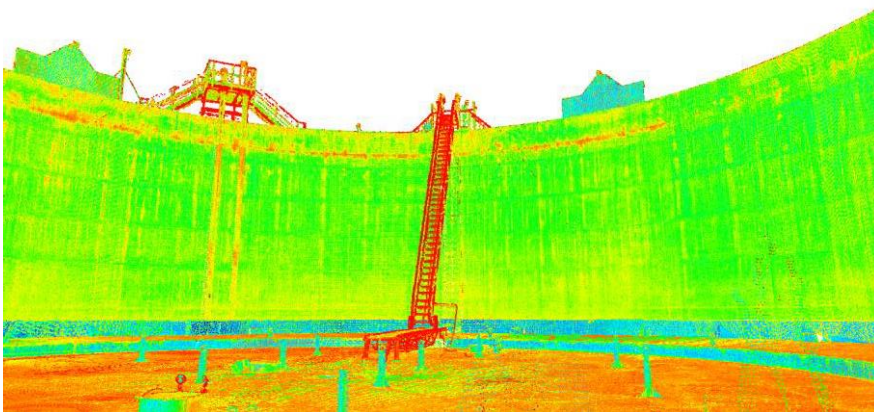
Analisi verticalità del tubo calma con termosonda,
tubo guida



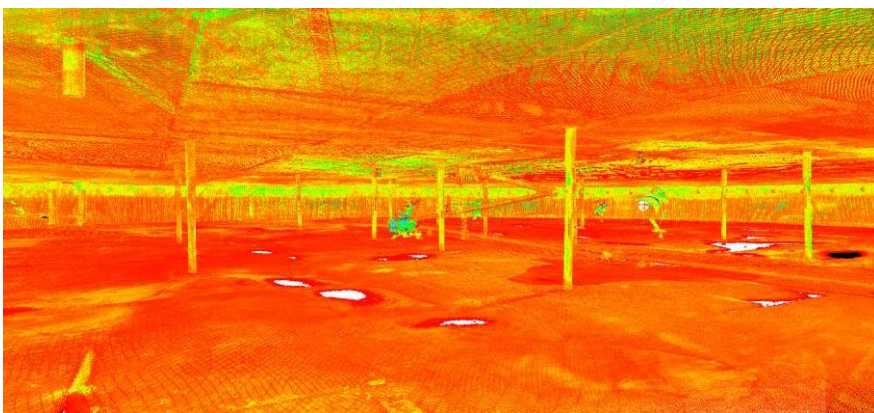
Necessario ispezionare con attenzione
le superfici dei pali alla ricerca di
danneggiamenti

Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

Analisi verticalità del tubo calma con termosonda, tubo guida



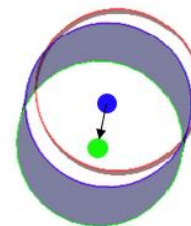
Rilievo da interno (superfici sopra al tetto)



Rilievo da interno (superfici sotto al tetto)



Analisi geometrica delle porzioni dei tubi rilevate e individuazione deformazioni/fuori verticalità



In rosso la porzione dei tubi sotto il tetto

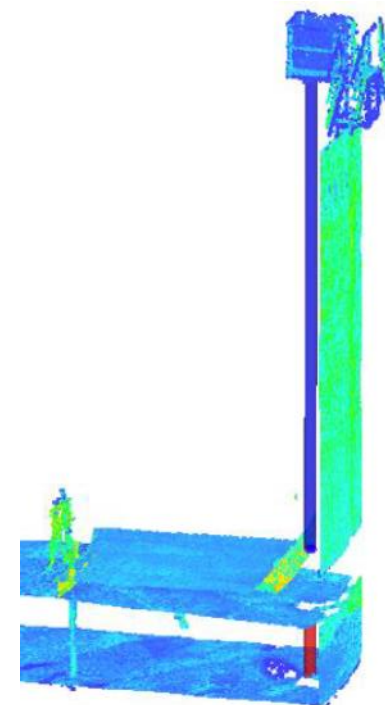
In blu la porzione dei tubi sopra il tetto

→ Direzione scostamento porzione tubi sopra il tetto

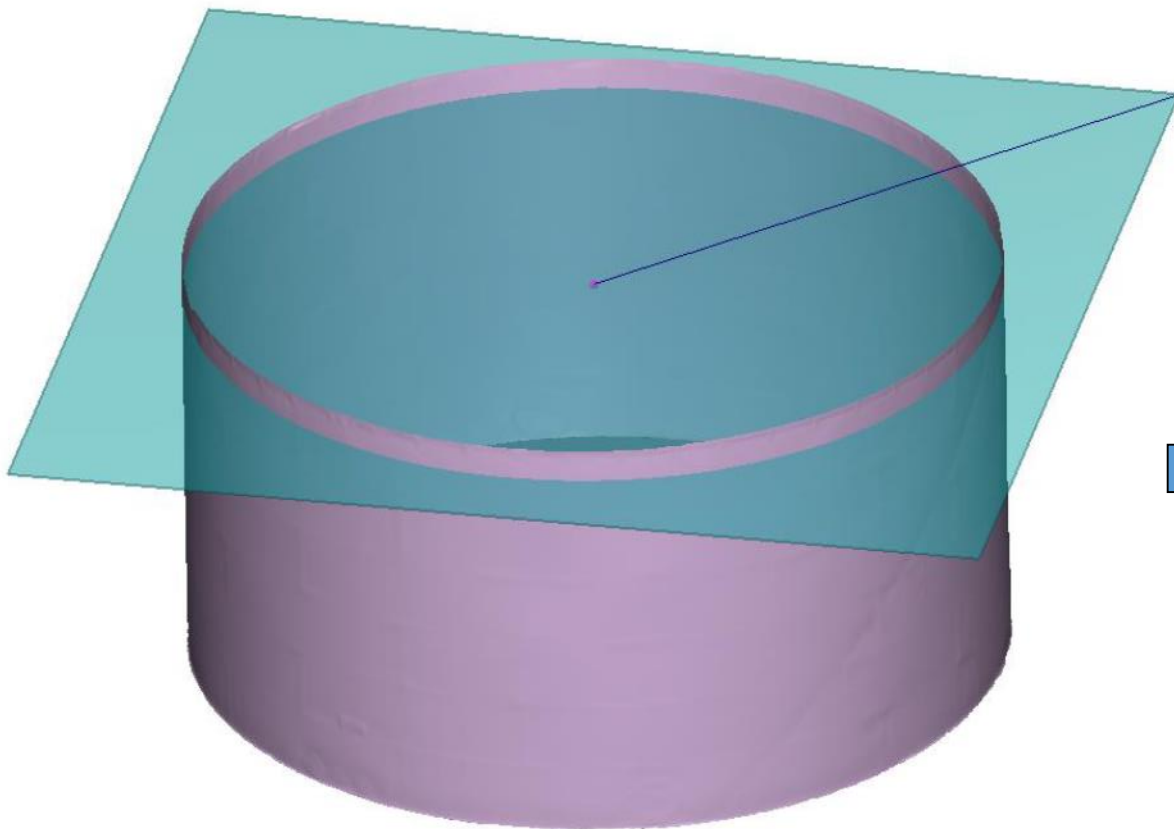
● Centro cerchio di base della porzione di tubi sopra il tetto

● Centro cerchio di sommità della porzione di tubi sopra il tetto

● Centro cerchio di base della porzione di tubi sotto il tetto



Stima volumetrie



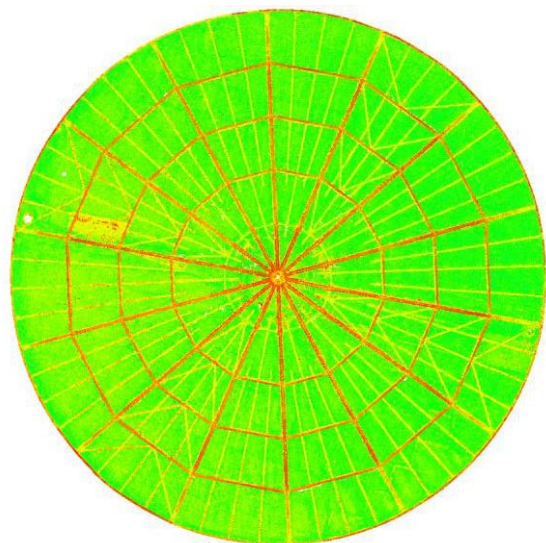
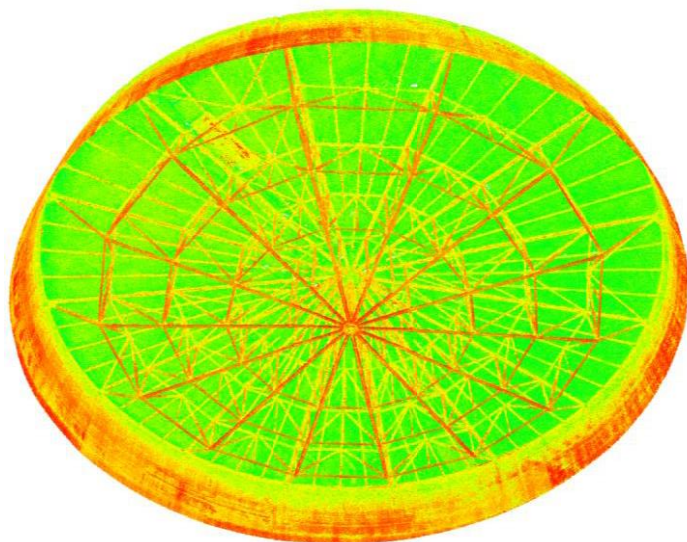
1	Meas
Lvl	8.822
Vol +	0.228
Vol -	3699.937
m / m ³	

H [m]	Volume totale [m ³]
0	31.4
1	385.4
2	743.8
3	1102.2
4	1460.5
5	1818.8
6	2177.1
7	2535.4
8	2893.6
9	3251.8
10	3609.8
10.2	3682.1

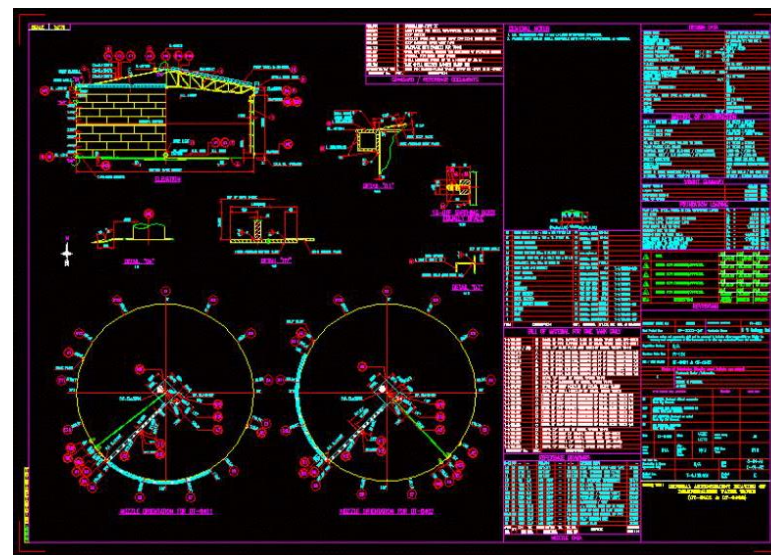
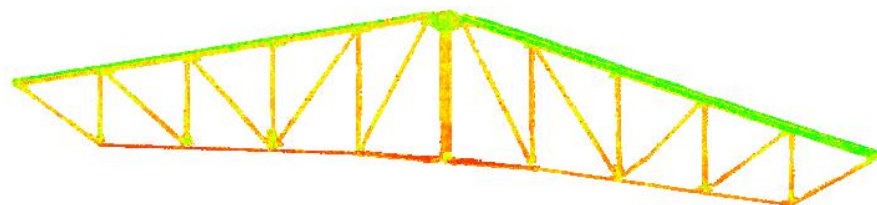
Valutazione volume a vari livelli di riempimento

Stima delle volumetrie comprese tra elementi grafici

Analisi dimensionali di strutture ed elaborazione disegni



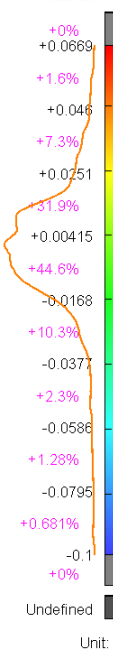
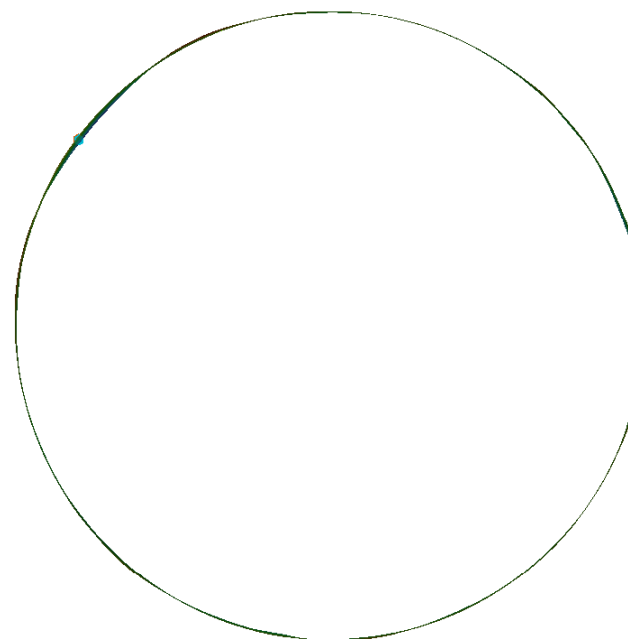
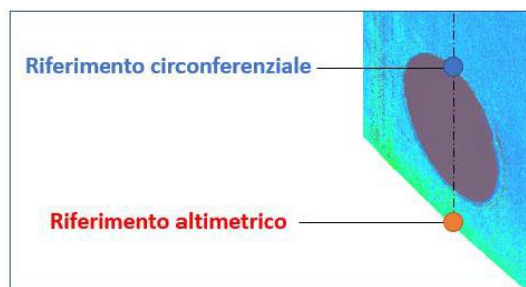
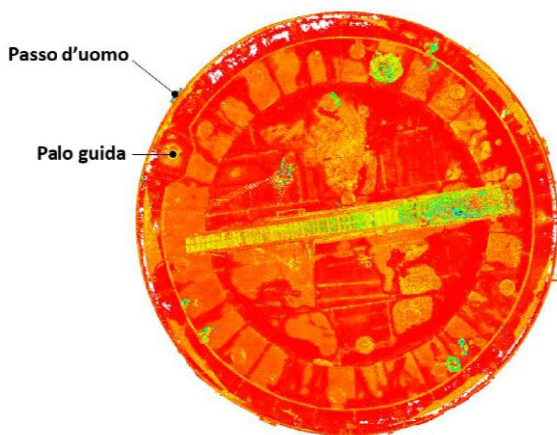
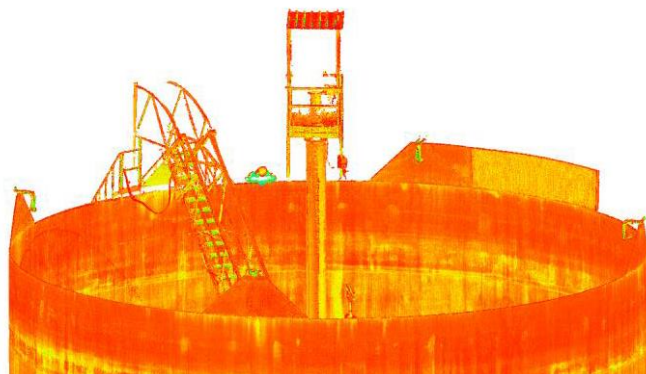
Analisi qualitativa della attuale configurazione geometrica degli elementi strutturali del tetto del serbatoio ed elaborazione disegni



Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

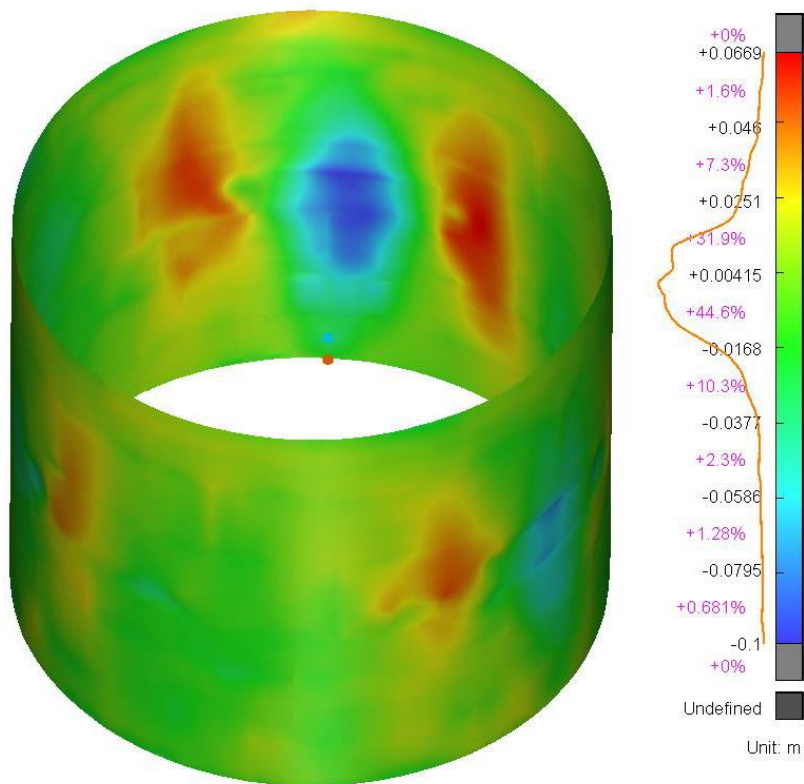
Verifica esito interventi manutentivi

Mantello localmente deformato:
verifica efficacia intervento manutentivo

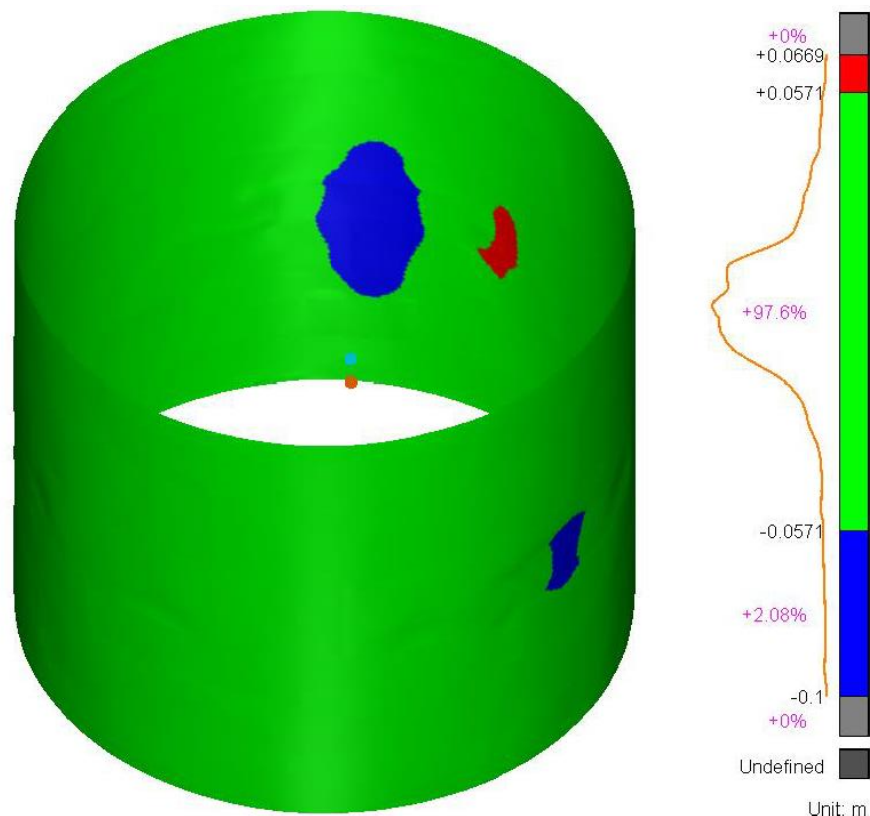


Scostamento (m) dalla configurazione
cilindrica: vista in pianta del mantello

Verifica esito interventi manutentivi

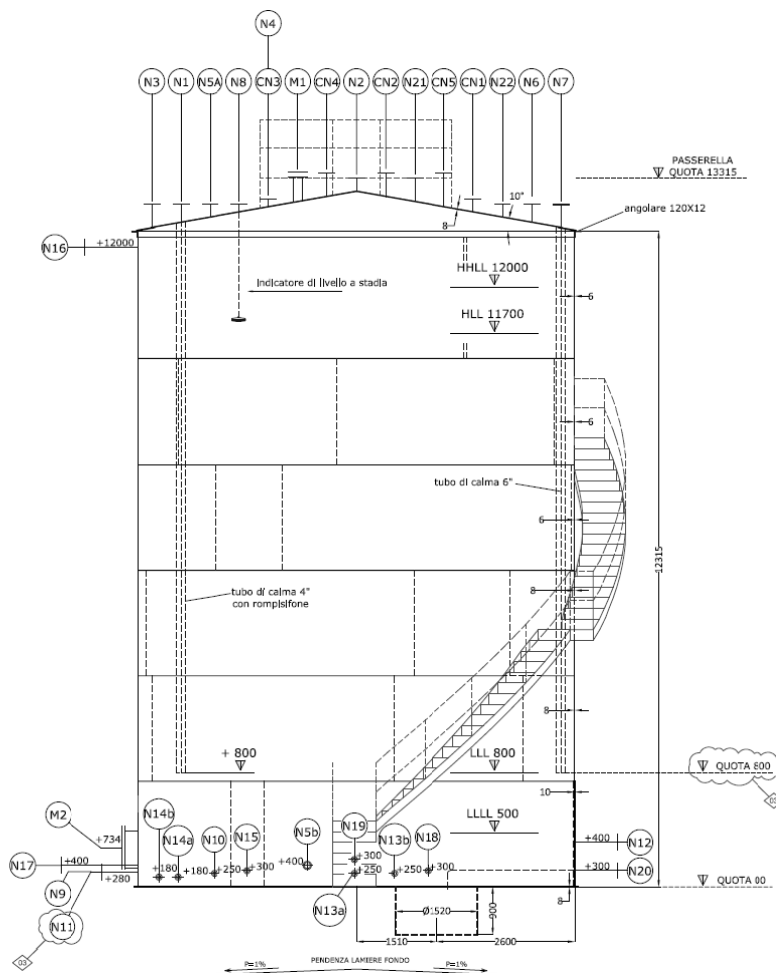


Scostamenti (m) dalla configurazione cilindrica (in blu le zone deformate verso l'interno; in rosso le zone deformate verso l'esterno): la curva arancione e i corrispondenti valori percentuali in rosa rappresentano la distribuzione dei punti rilevati all'interno dei "range di valori" della scala cromatica



Scostamenti (m) dalla configurazione cilindrica fuori tolleranza: in blu e in rosso, rispettivamente le zone deformate verso l'interno e verso l'esterno eccedenti i limiti, in verde le zone entro i limiti

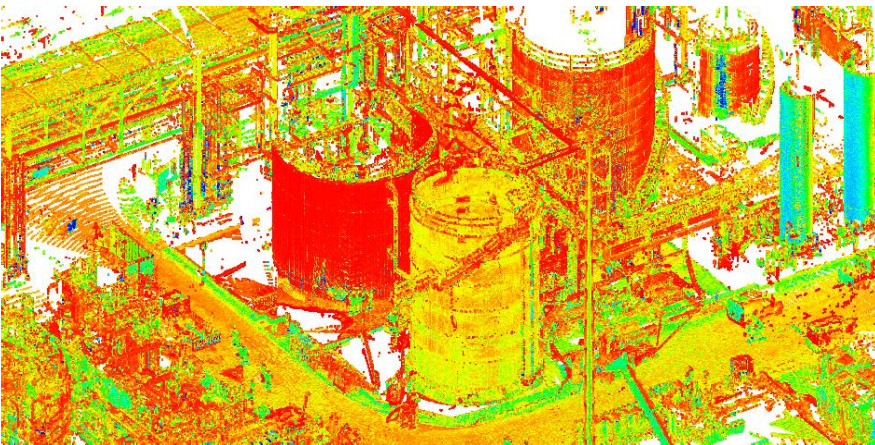
Verifica sismica serbatoio a tetto fisso ancorato



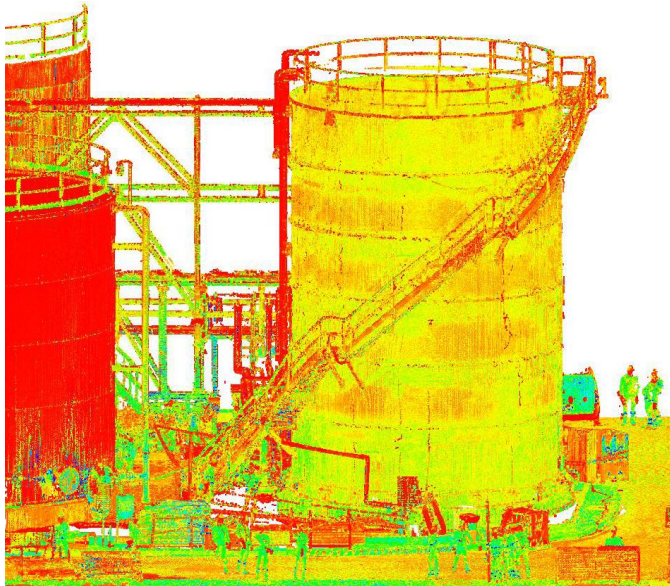
- *Diametro interno: 8'200 mm*
- *Capacità geometrica: 650 m³*
- *Tipologia tetto: fisso*

Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

Nuvola di punti complessiva



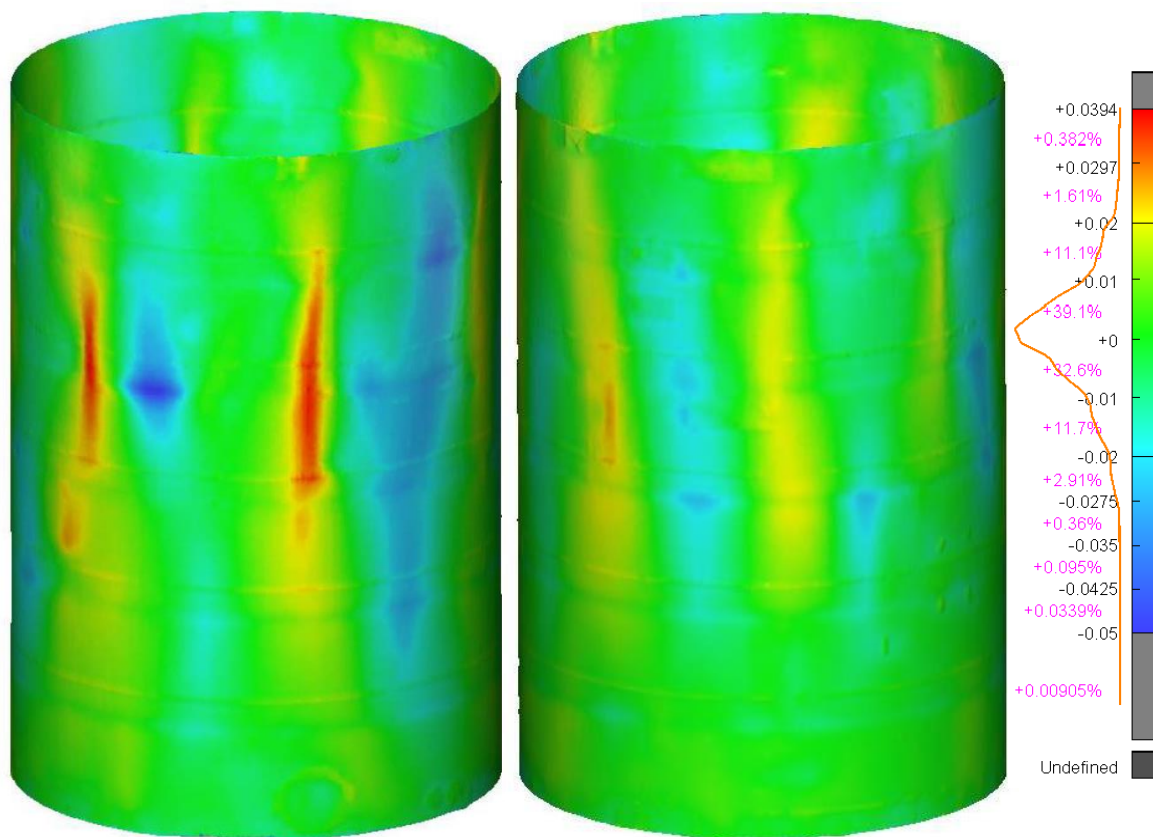
Serbatoio in oggetto



Generazione superficie deformata



Valutazione degli scostamenti rispetto alla configurazione cilindrica



Valutazione geometrica del fasciame cilindrico del serbatoio

Verifiche strutturali in accordo ad API 579-1/ASME FFS-1 "Fitness-For-Service":

- verifica della resistenza nei confronti del collasso plastico (Cl. 2D.2 "Protection against Plastic Collapse" Par. 2D.2.3 "Limit-Load Analysis Method");
- verifica della resistenza nei confronti del fenomeno dell'instabilità dell'equilibrio (Cl. 2D.4 "Protection against Collapse from buckling").

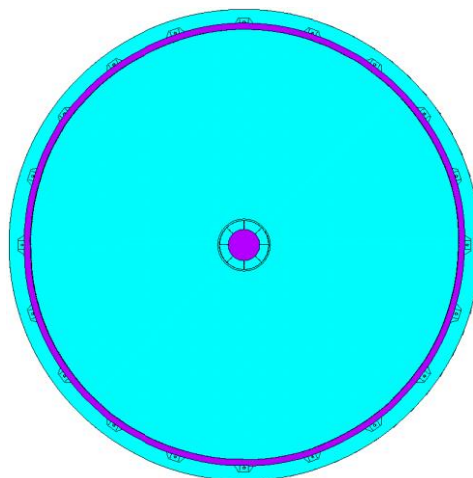
Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

Modello ad elementi finiti

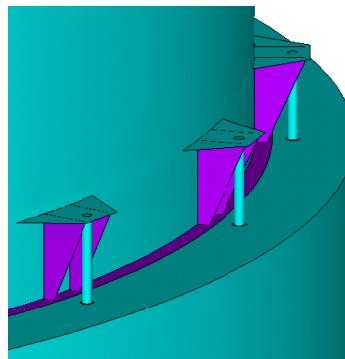
Generazione modello ad elementi finiti



Vista in pianta

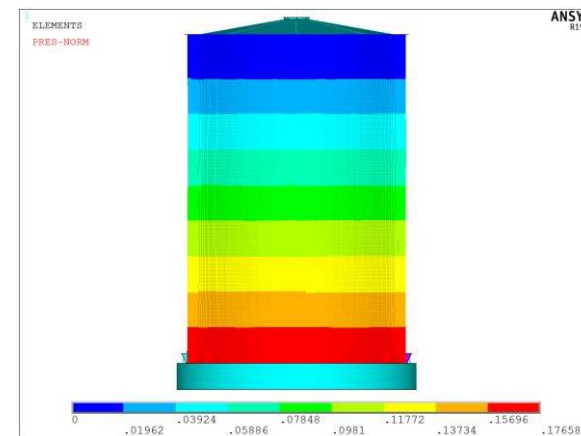


Dettaglio zona di ancoraggio



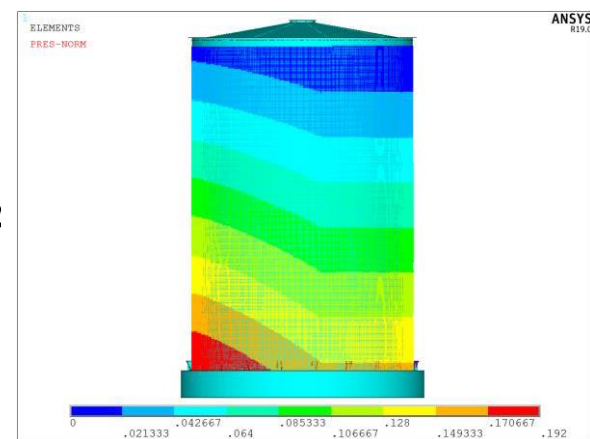
Verifica nei confronti del collasso plastico globale

LC1



(Peso prodotto + distribuzione pressione
idrostatica + P.P) x 1.5

LC2



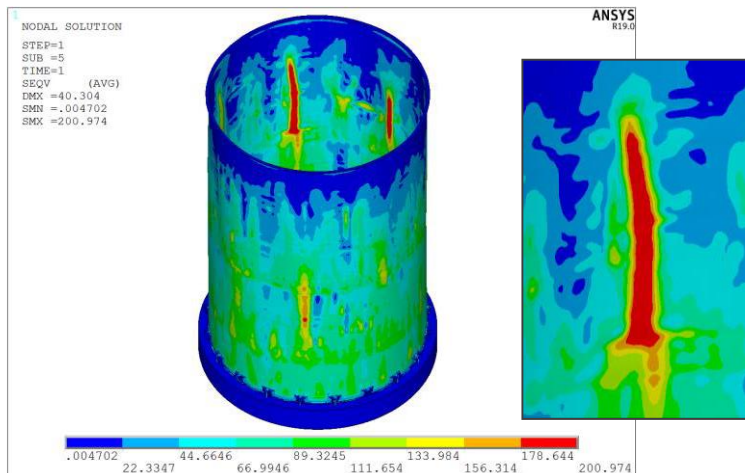
(Peso prodotto + distribuzione pressione
idrostatica + P.P) x 1.3 + Sovrappressione
Sismica x 1.1

Analisi dimensionali mediante sistema Laser Scanner

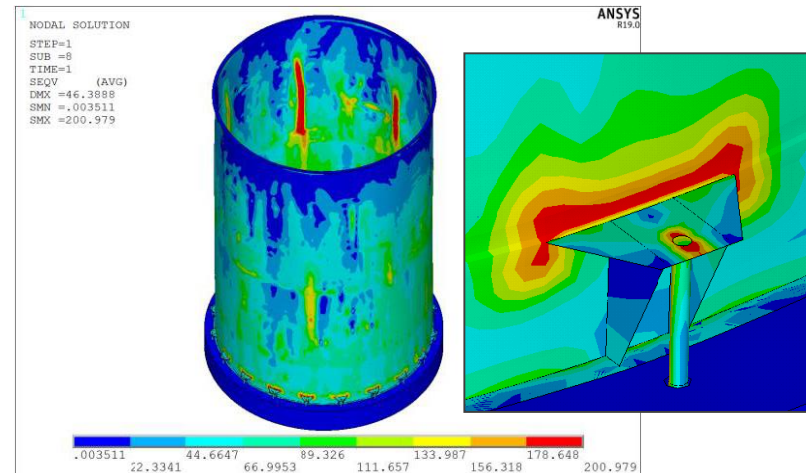
Verifica nei confronti del collasso plastico globale

σ_{vm}
[MPa]

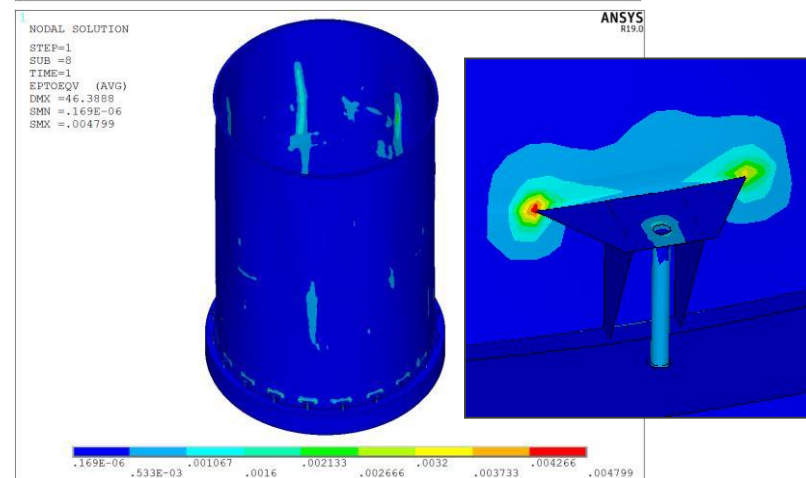
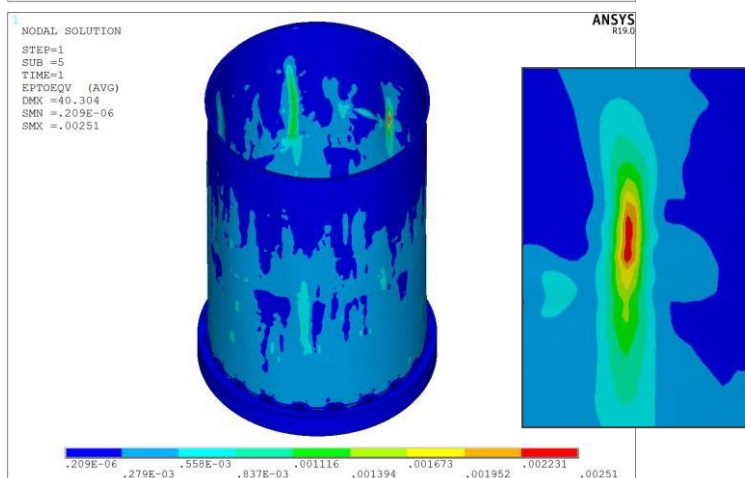
LC1



LC2



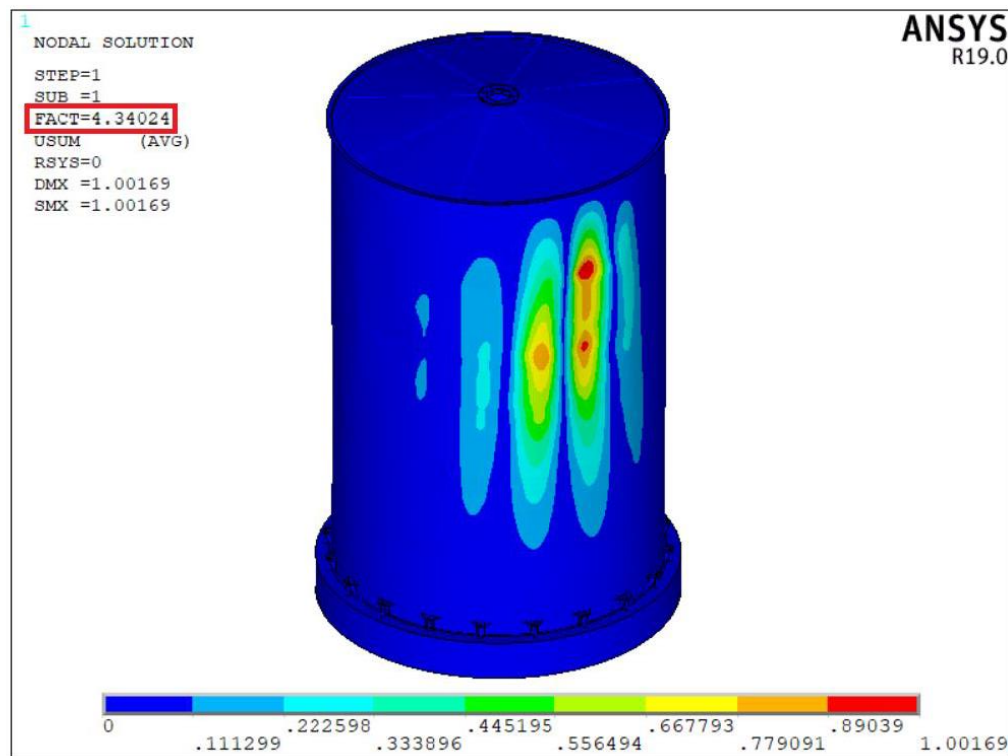
ϵ_{vm}



Verifica nei confronti del fenomeno dell'instabilità dell'equilibrio

Carichi: azione massima del vento agente nel caso di serbatoio vuoto (NTC 2018). Per il peso proprio degli elementi strutturali è stato adottato un coefficiente unitario, mentre per il carico del vento un valore pari a 0.6.

Definita la distribuzione dei carichi, l'analisi consente di calcolarne il moltiplicatore ("buckling factor") che determina il valore critico dei carichi stessi, oltre il quale potrebbe verificarsi il fenomeno di instabilità locale delle lamiere del fasciame.



"Buckling factor" (Φ_B) calcolato (4.34) > al valore minimo calcolato in accordo al paragrafo 5.4.1.2, ASME B&PV Code VIII-2 (2.50)

Analisi mediante Drone

Attività ispettiva – rilievo – monitoraggio mediante Drone



Campi di applicazione:

- 1) Ispezioni visive
- 2) Controlli termografici
- 3) Rilevazioni 3D



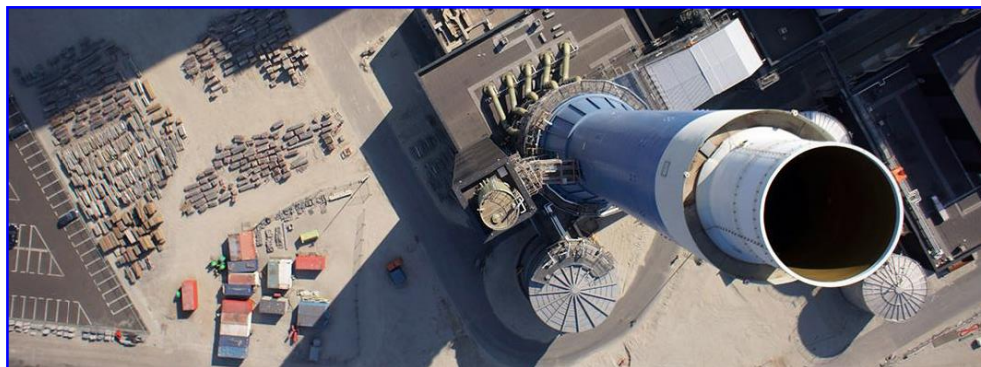
Redazione reportistica
ispettiva dedicata

Necessarie autorizzazioni ENAC allo svolgimento di Operazioni Specializzate Critiche (Rif. ENAC IIS SERVICE 23802 – Scenari S03/S05/S07)

Necessaria assicurazione in corso di validità inerente alla responsabilità verso terzi in accordo all'Art. 32 del Regolamento ENAC

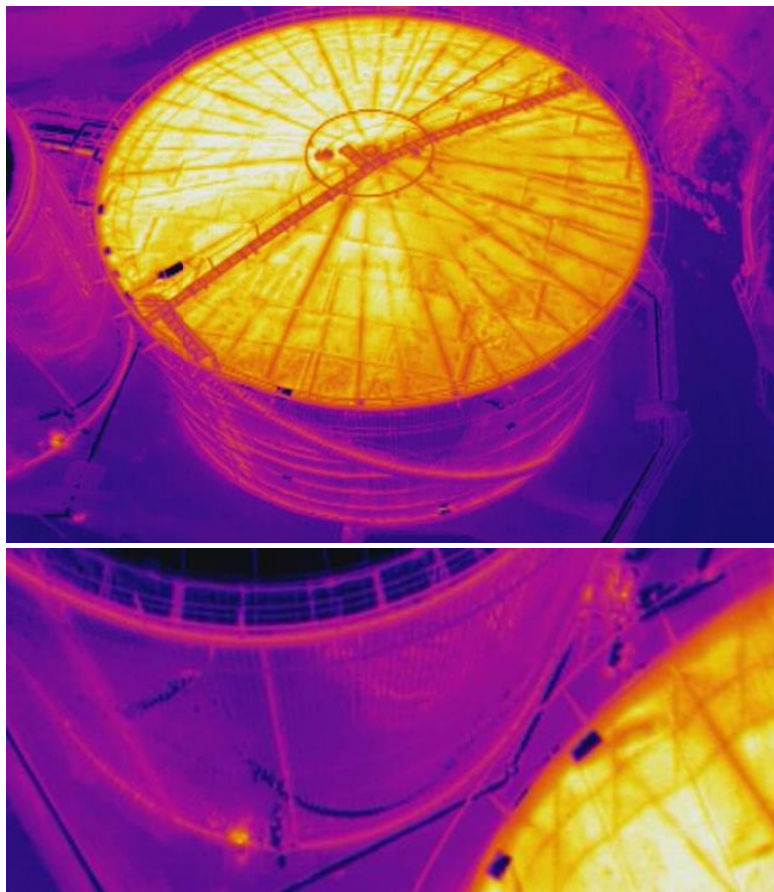
Necessario disporre di piloti autorizzati da ENAC per operazioni specializzate critiche, con attestati di pilota APR in corso di validità

Attività ispettive zone difficilmente accessibili/aree non sicure



Redazione
reportistica
ispettiva
dedicata

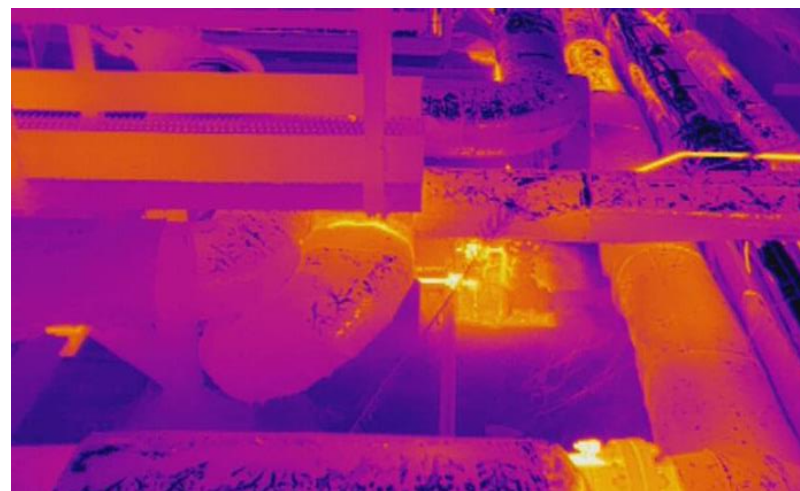
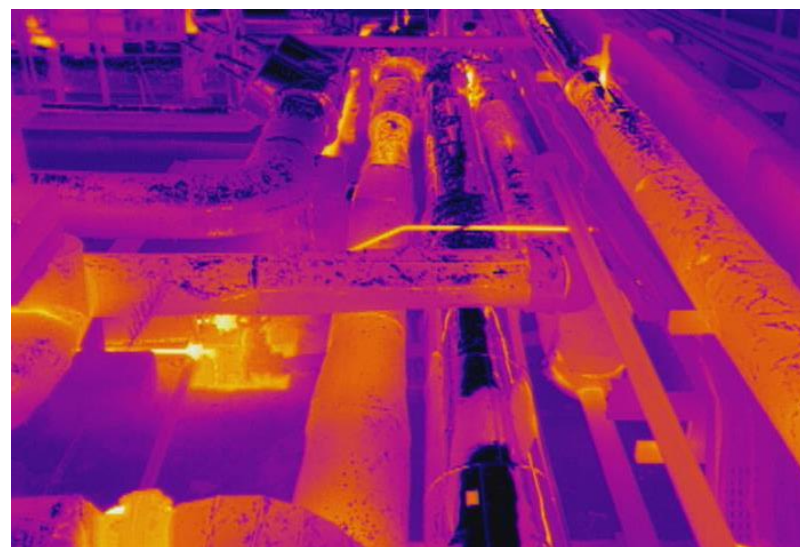
Rilevazioni termografiche



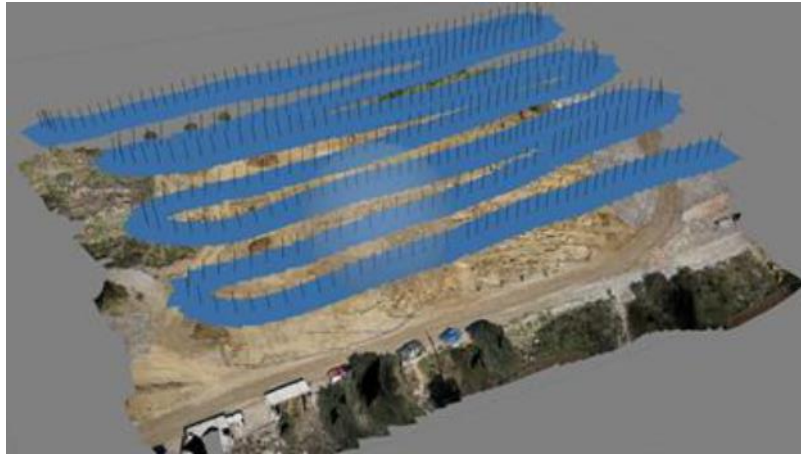
Tecnica di rilevazione radiazioni nel campo dell'infrarosso (rilevamento delle temperature dei corpi analizzati attraverso la misurazione dell'intensità di radiazione infrarossa emessa dal corpo in esame: tutti gli oggetti ad una temperatura superiore allo zero assoluto emettono radiazioni nel campo dell'infrarosso). La quantità di radiazioni emessa è proporzionale T_{ass}^4

→ Individuazione anomalie emissione energia (a parità di emissività, anomalie termiche)

Rilevazioni termografiche

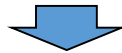


Rilievi fotogrammetrici

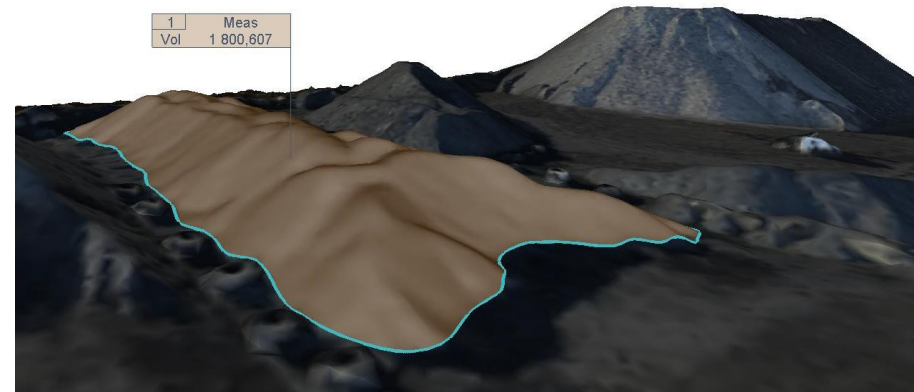


Scopo: rilevare dati metrici di un oggetto mediante l'acquisizione e l'analisi di coppie di fotogrammi stereometrici (particolarmente impiegata nel rilievo architettonico e topografico del territorio)

Elaborazione piano di volo configurando tutti i parametri (waypoints, modalità di scatto, inclinazione camera, % sovrapposizione immagini, quota di volo, velocità APR, etc)



Elaborazione piano di volo configurando tutti i parametri (waypoints, modalità di scatto, inclinazione camera, % sovrapposizione immagini, quota di volo, velocità APR, etc)

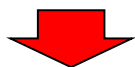


Ricostruzione modelli 3D del terreno, valutazioni volumetriche (bacini di contenimento serbatoi, cumuli, aree di scavo), rilevamento dello stato di fatto di aree al momento del volo

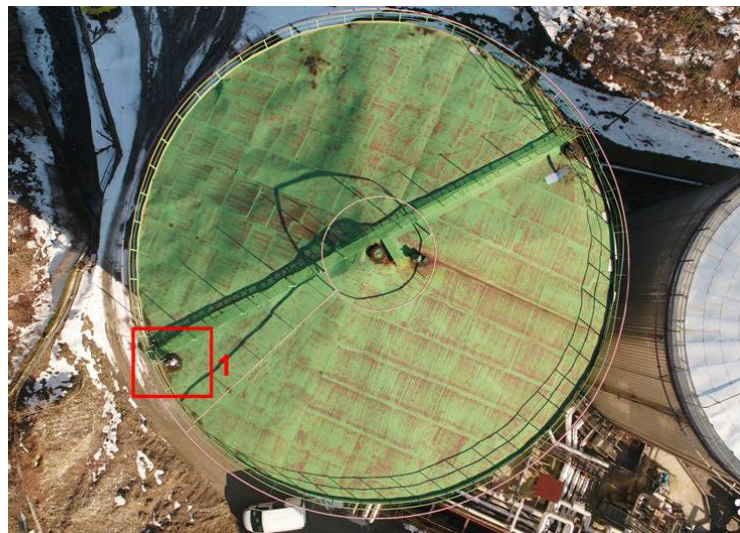


Esempio attività ispettiva: rilievo aereo della copertura di un serbatoio inaccessibile

Pianificazione attività di volo



Attività di rilievo

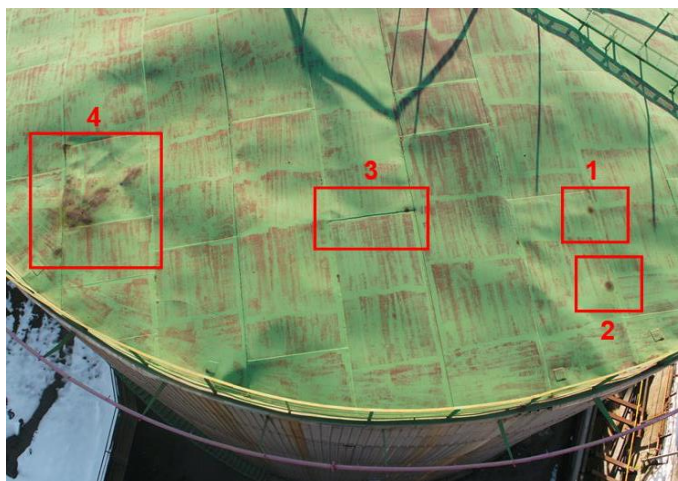


Vista piana del tetto

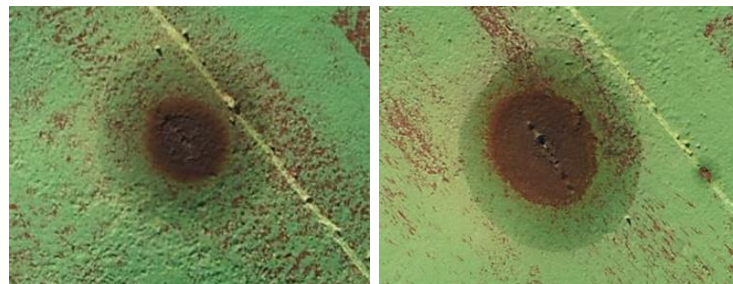


Det. 1: lamiere soggette a corrosione (zona perimetrale e connessione)

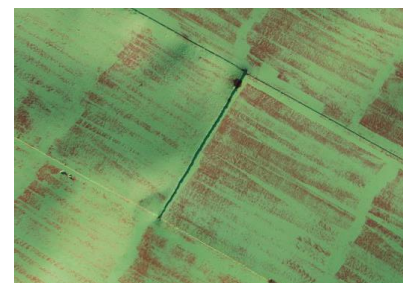
Esempio attività ispettiva: rilievo aereo della copertura di un serbatoio inaccessibile



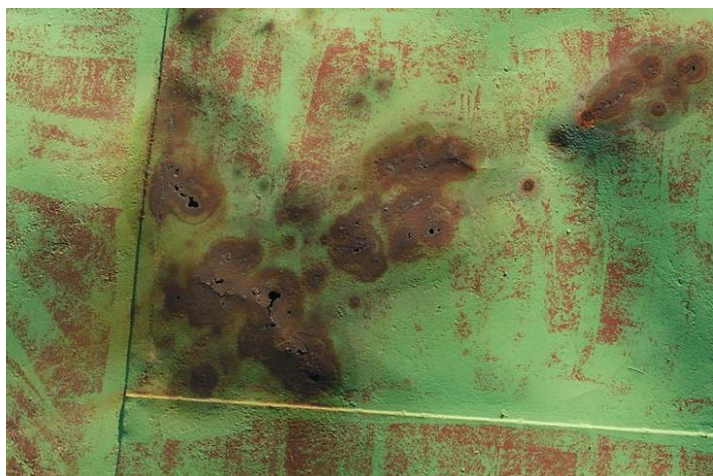
Vista zona deformata (lato nord-est)



Dett. 1,2:
corrosione
localizzata lamiera



Dett. 3: anomalia di
collegamento
lamiera

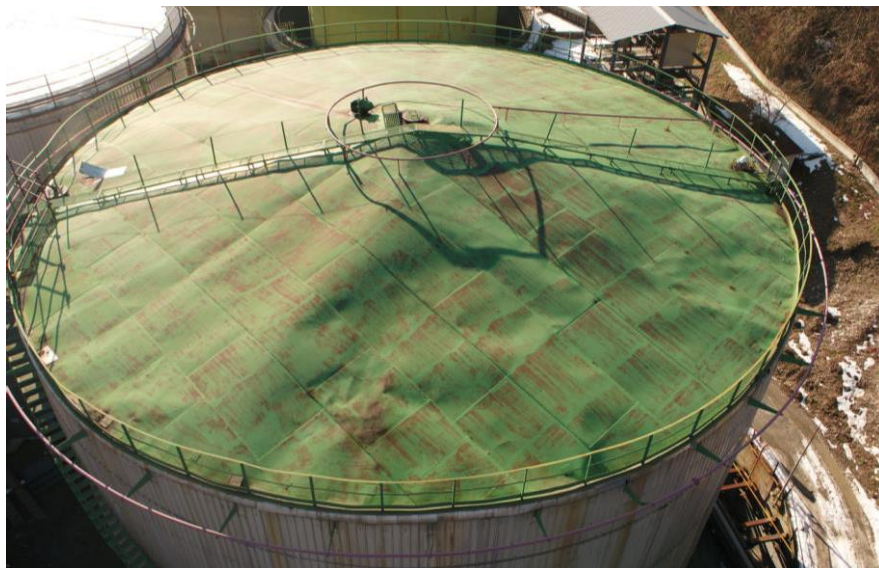


Dett. 4: corrosione passante



Ingrandimento zona corrosione passante

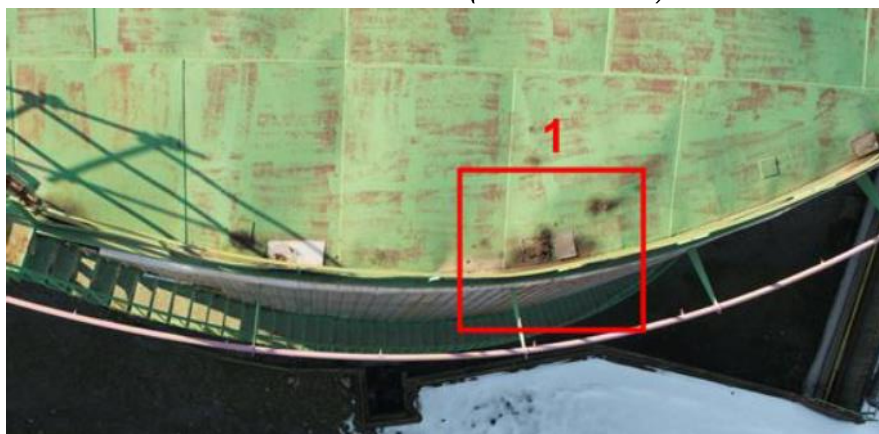
Esempio attività ispettiva: rilievo aereo della copertura di un serbatoio inaccessibile



Vista zona deformata (lato nord-est)



Vista zona deformata (lato sud-est)

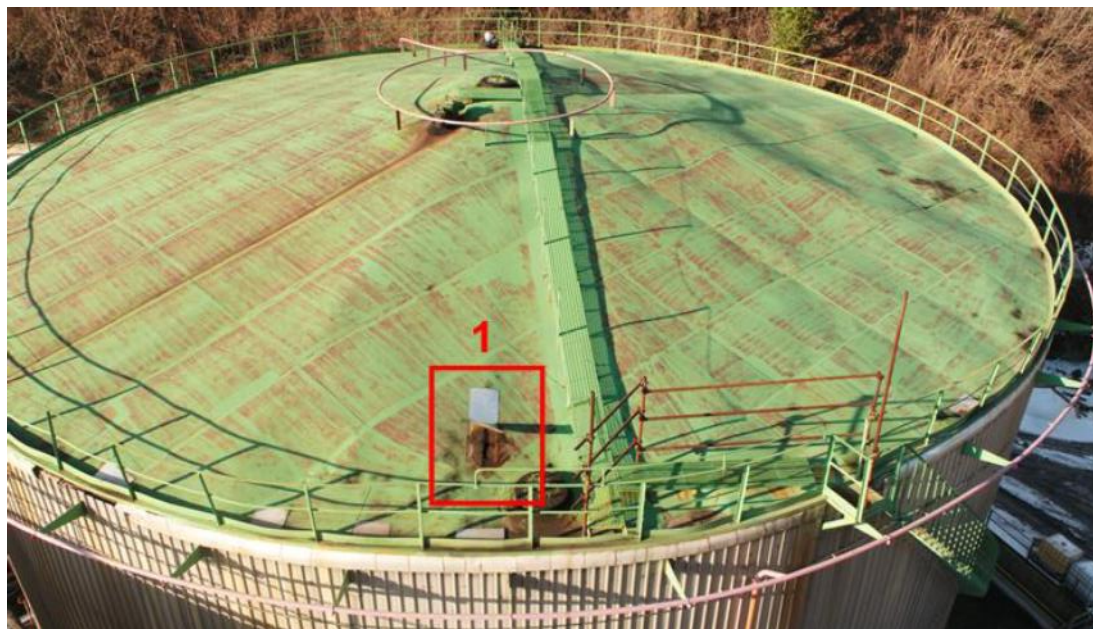


Vista in pianta (lato sud-est)

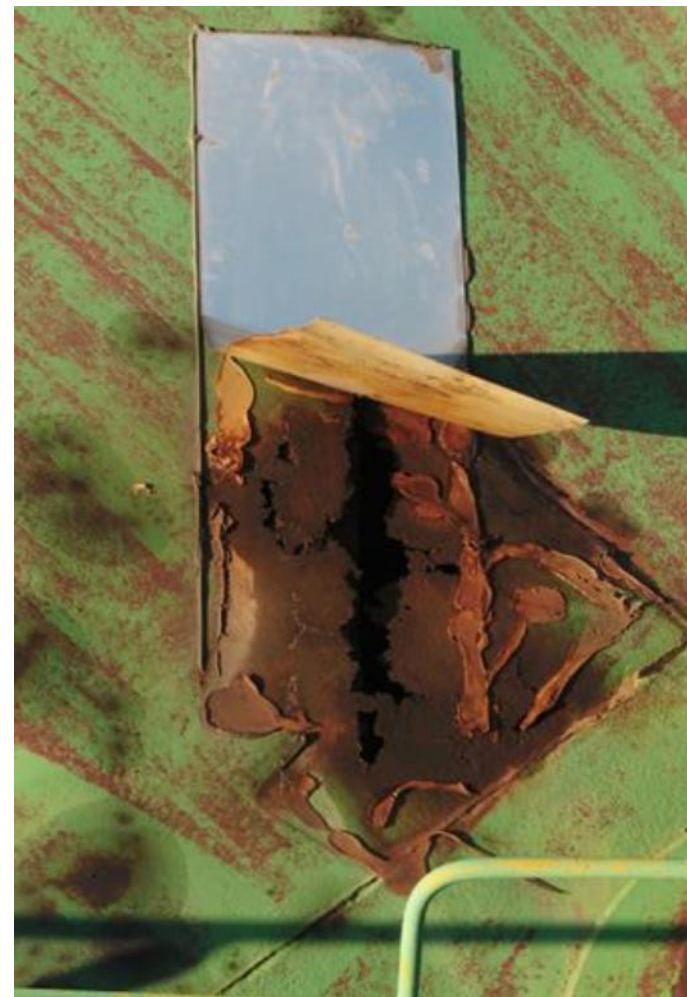


Dett. 1: corrosione passante in zona perimetrale (precedentemente tamponata)

Esempio attività ispettiva: rilievo aereo della copertura di un serbatoio inaccessibile



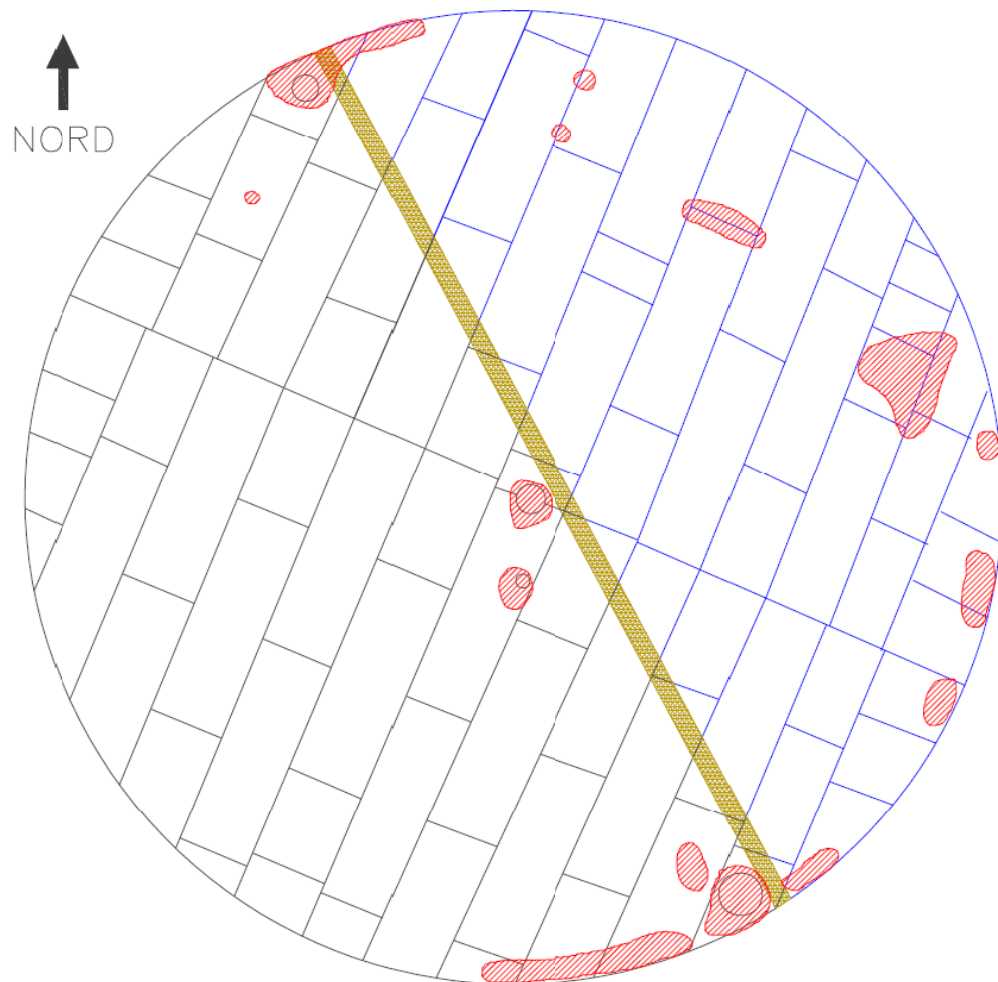
Vista lato sud



*Det. 1: corrosione passante
(precedentemente tamponata)*

Analisi mediante Drone

Esempio attività ispettiva: rilievo aereo della copertura di un serbatoio inaccessibile



**Pianificazione attività
manutentive**

Schema qualitativo delle anomalie riscontrate sulla copertura: in blu le lamiere soggette a significative deformazioni, in rosso le zone soggette a fenomeni corrosivi significativi