



CENTRO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE
PER L'INDUSTRIA CERAMICA

Laboratorio accreditato ACCREDIA – n. 0058

Bologna, 20 luglio 2016

Spett.le

Società del Gres S.p.A.

Via Marconi, 1

24010 Sorisole (BG)

Studio sulla durabilità dei tubi in gres ceramico per condotte fognarie

1-Introduzione

I tubi in gres trovano il campo di utilizzo elettivo nelle reti idrauliche di raccolta e smaltimento di reflui civili e industriali, normalmente chiamate “fognature nere”; data la loro versatilità, essi trovano largo impiego anche nelle fognature miste e in quelle per il drenaggio delle acque meteoriche.

Le tubazioni in gres ceramico hanno caratteristiche fisiche, meccaniche e idrauliche ben definite che le distinguono dalle altre condotte destinate agli stessi campi d'impiego. Tali caratteristiche derivano in gran parte dalla natura delle argille che costituiscono il materiale con cui sono costruiti i tubi e dalle qualità chimico-fisiche che queste, sottoposte al processo di greificazione, vengono ad assumere.

Per approfondire i motivi che conferiscono al gres le ben note caratteristiche di resistenza meccanica e chimica, in questo documento vengono esaminati i risultati delle analisi, svolte dal Centro Ceramico di Bologna, sulla struttura del gres. La relazione è poi completata da alcuni riferimenti normativi e bibliografici che evidenziano lo stretto legame tra la natura chimico/fisica del gres e le prestazioni delle condotte ceramiche.

2-Descrizione del materiale

Le condotte in gres ceramico sono costruite con un impasto di argilla, chamotte e acqua, con il quale viene formato il tubo, attraverso la trafilatura ad alta pressione. Il tubo ancora “crudo” viene inviato all’essiccazione e poi alla cottura durante la quale, ad una temperatura di circa 1150 °C, le argille subiscono il processo di trasformazione in gres. Il prodotto finale è costituito da una massa ceramica compatta, fortemente vetrificata, impermeabile, a frattura concoide, di colore vario intorno al bruno –rossiccio, a seconda delle materie prime. (1).

Le principali (2) caratteristiche del tubo in gres sono l’elevata resistenza all’aggressione chimica e all’abrasione, la grande resistenza allo schiacciamento. Altre caratteristiche importanti sono impermeabilità e inalterabilità nel tempo delle caratteristiche meccaniche e chimiche.

3-Microstruttura e proprietà dei tubi in gres

Le proprietà delle condotte ceramiche derivano dalla natura intrinseca del materiale, il cui impasto di base è costituito principalmente da argille rosse greificanti a cui si aggiunge una fase inerte, detta chamotte, ottenuta da rottami e scarti di lavorazione di materiale ceramico finemente triturati. I componenti dell’impasto ottenuto, alla temperatura di cottura del gres, si compattano con formazione di una fase vetrosa.

Le caratteristiche del gres per condotte fognarie

Le analisi delle caratteristiche del materiale in esame sono state eseguite su un campione estratto dal tubo in gres per condotte fognarie, fornito dal Committente, appartenente alla produzione standard e contrassegnato “conforme alla norma europea UNI EN 295:2013.”

I campioni prelevati dal tubo sono stati caratterizzati mediante,

- microscopia ottica (OM),
- microscopia elettronica a scansione (SEM),
- diffrazione a raggi X (XRD)
- profilometria ottica.
- Durezza Vickers

In particolare, le osservazioni microstrutturali sono state eseguite sulla superficie dello smalto interno, dello smalto esterno e della sezione trasversale del tubo in gres, con un microscopio ottico in luce riflessa (LEICA MZ6, D) e con un microscopio elettronico a scansione (SEM Zeiss Evo 40) corredato di sistema per microanalisi a dispersione di energia EDS (Inca, Oxford Instruments).

Per le analisi al SEM, tutti i campioni analizzati sono stati preventivamente metallizzati con oro, in modo da rendere conduttiva la superficie.

In Fig. 1 si riportano le immagini all'OM della superficie dei provini corrispondenti allo smalto esterno, smalto interno e sezioni del tubo in gres nella parte esterna ed interna. Lo smalto, sia esterno sia interno, ha uno spessore di circa 300-400 μm .

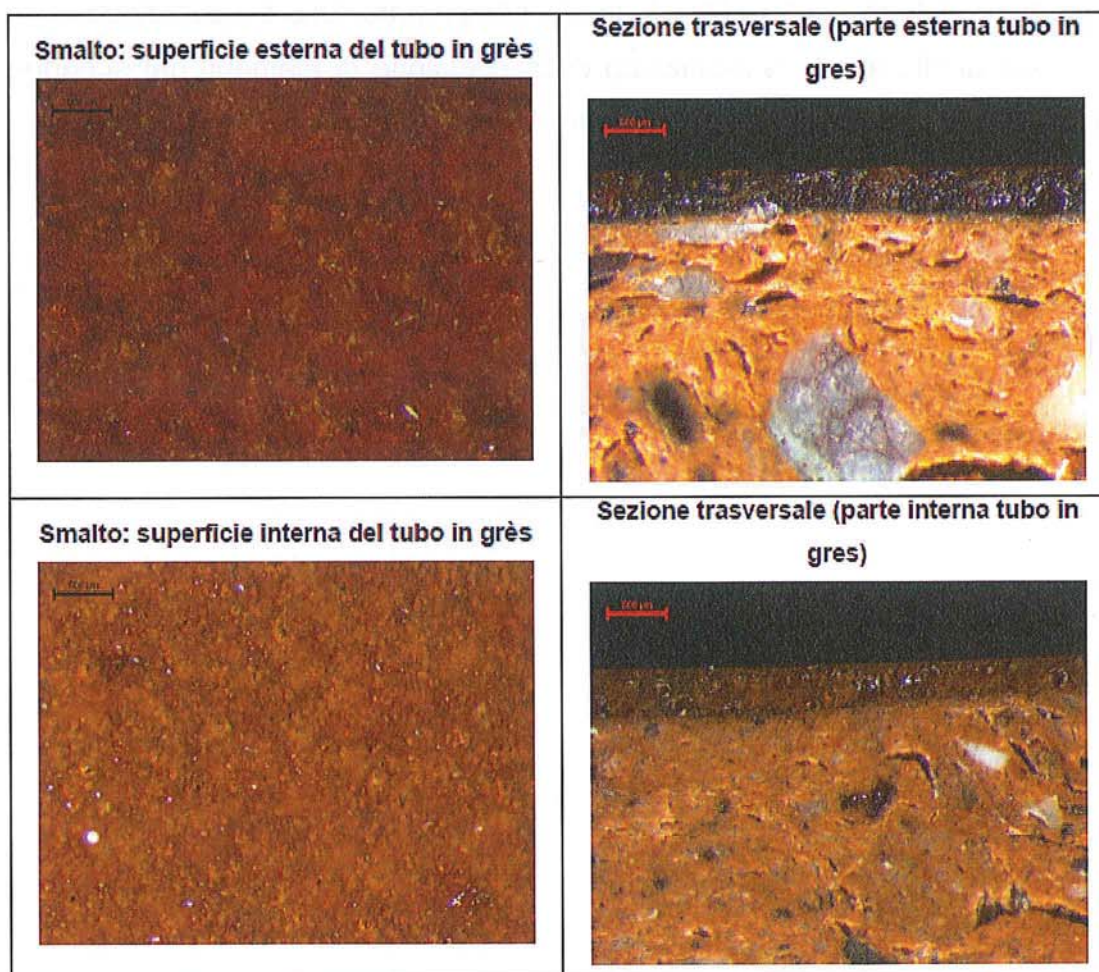


Figura 1: immagini al microscopio ottico del campione (il marker corrisponde a 500 μm).

In Fig. 2 si riportano le immagini al SEM della sezione trasversale del campione comprensiva dello smalto interno del tubo, da cui si evince che tra lo smalto e il supporto vi è un bordo di reazione (aree chiare e scure al confine tra i due strati nell'immagine). Dopo attacco acido (HF 1% per 1 minuto) si osservano chiaramente nel supporto in gres, piccoli cristalli aghiformi di mullite.

In Fig. 3 si riportano gli spettri della microanalisi EDS corrispondenti alla composizione chimica, rispettivamente, dello smalto, del supporto e del bordo di reazione. Lo smalto interno è costituito da silicio (Si), alluminio (Al), ossigeno (O), calcio (Ca), manganese (Mn), ferro (Fe) e potassio (K), mentre l'oro (Au) è dovuto alla preparazione del campione. Il supporto del tubo in gres è costituito da silicio (Si), alluminio (Al), ossigeno (O), potassio (K), ferro (Fe) e titanio (Ti) mentre l'oro (Au) è dovuto alla preparazione del campione. Il bordo di reazione analizzato è caratterizzato dalla diffusione di elementi del supporto nello strato di smalto e viceversa. Ciò è indice di una buona adesione tra i due materiali.

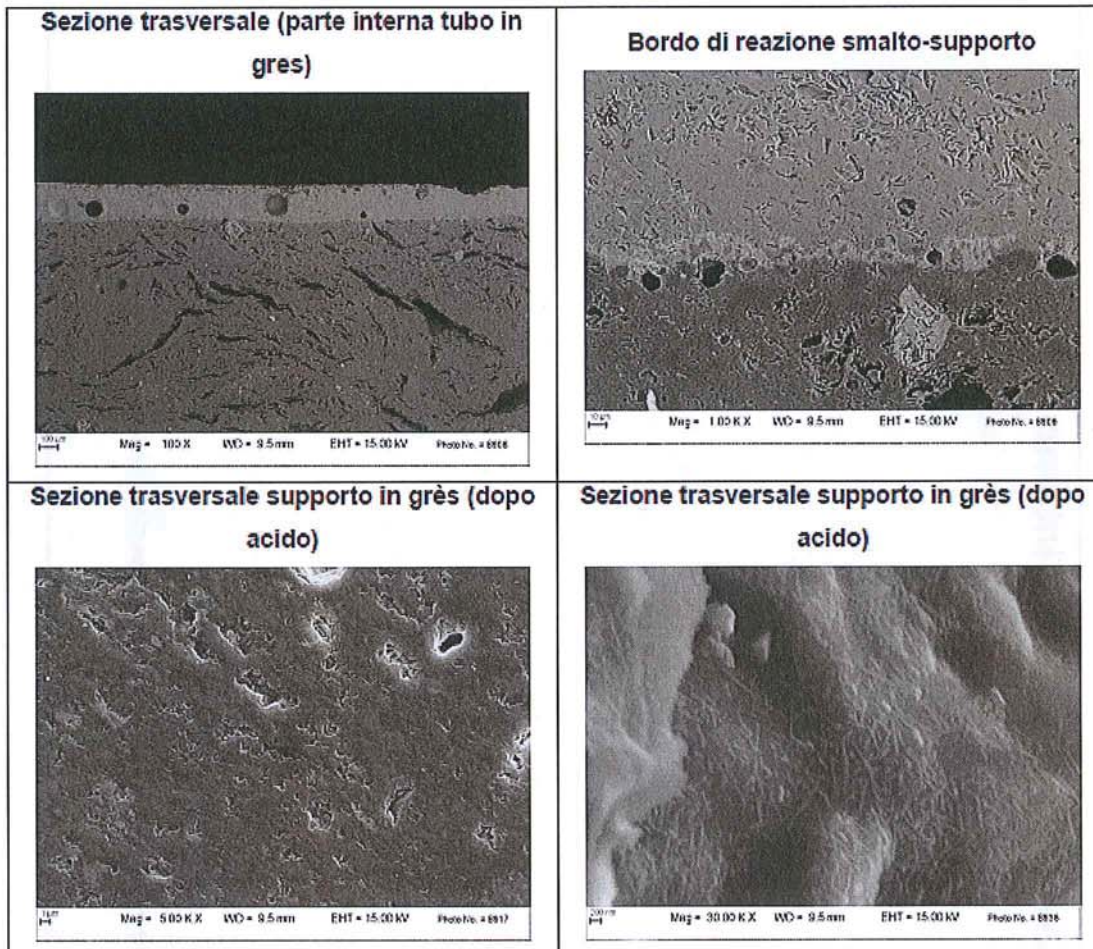
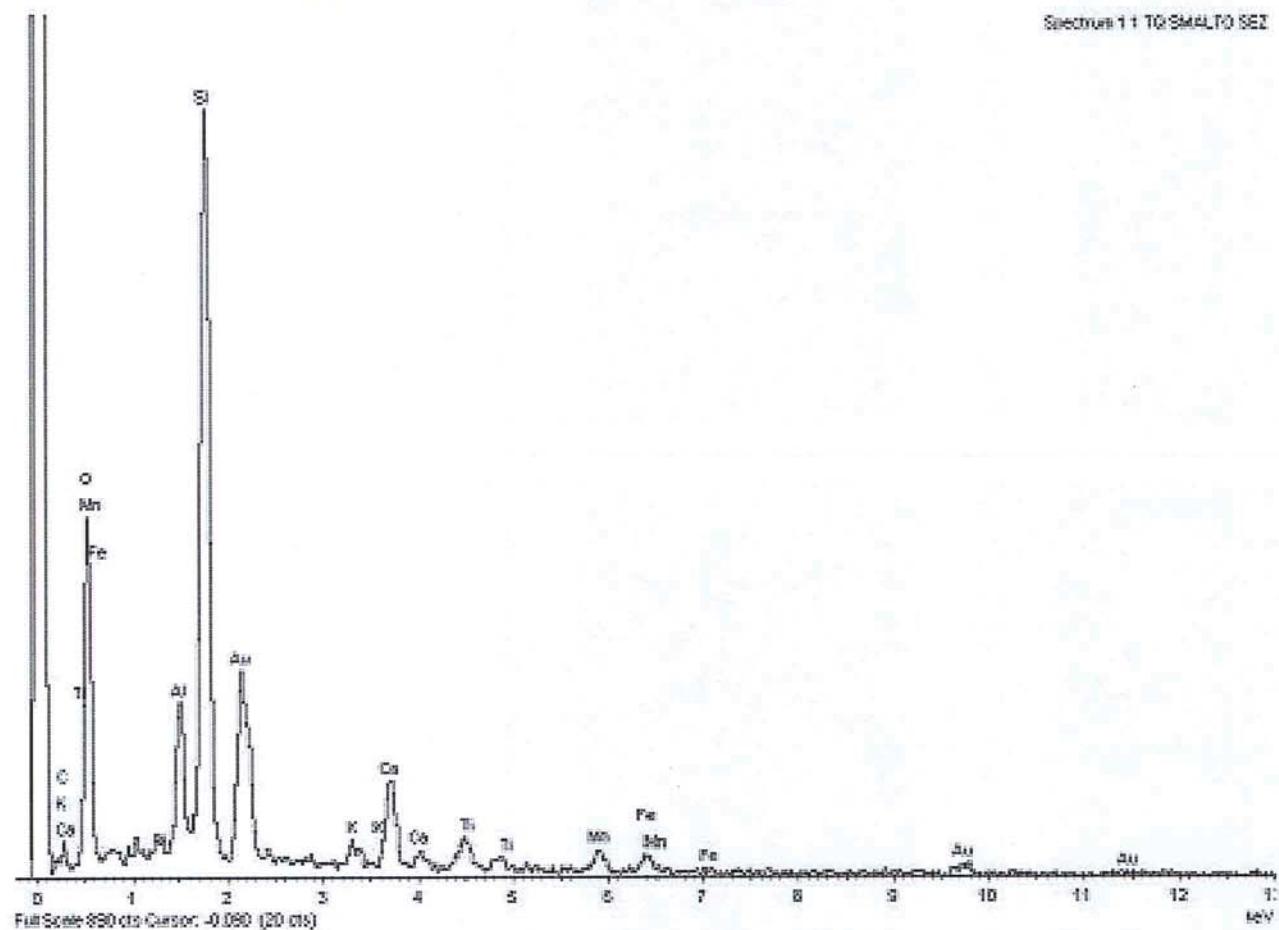


Figura 2: immagini al SEM della superficie interna del campione in sezione trasversale.

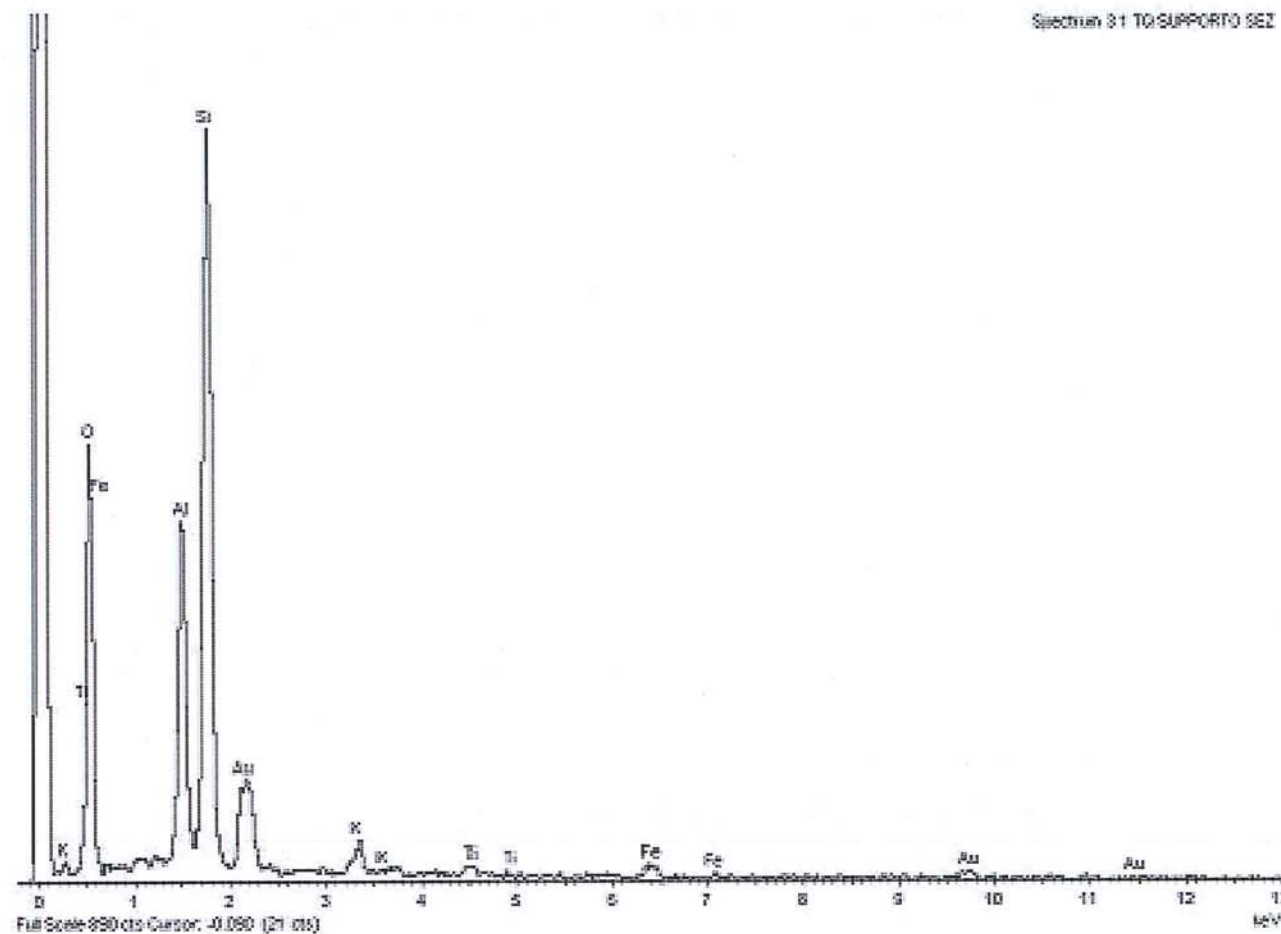
Composizione chimica dello smalto interno

Spectrum 11 TO SMALTO SEI



Composizione chimica del supporto ceramico

Spectrum 31 TO SUPPORTO SE2



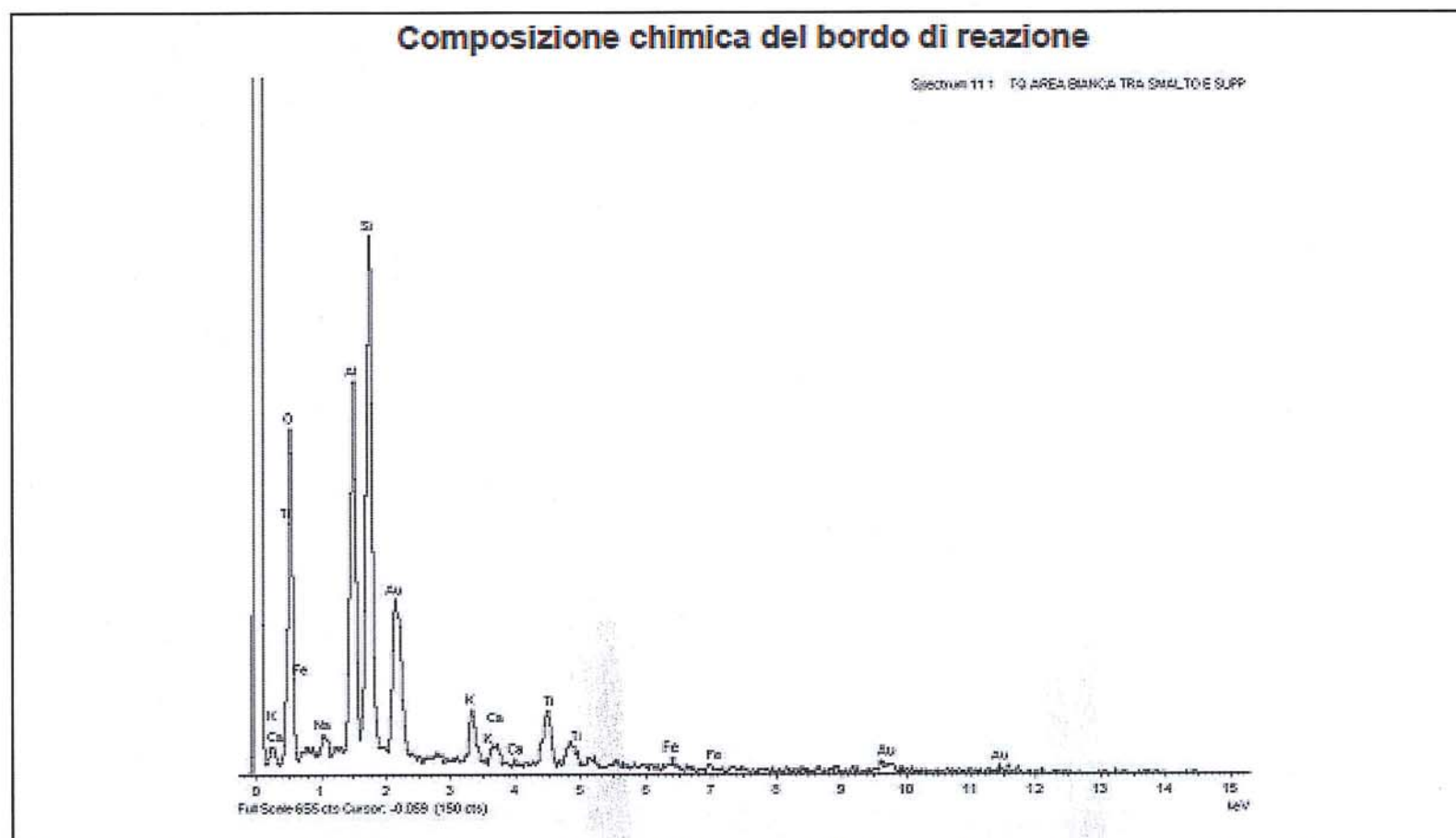


Figura 3: spettri della microanalisi EDS eseguiti in un'area dello smalto interno, del supporto in grès e del bordo di reazione tra smalto e supporto.

L'analisi diffrattometrica quantitativa a raggi-X è stata eseguita su un campione di supporto opportunamente polverizzato, aggiungendo il 10% di "Corundum NIST 676" quale standard interno ai fini della determinazione della fase amorfa. Le condizioni operative sono state: sorgente di raggi-X Cu K α , intervallo di scansione 2 θ . 10-80°, conteggio 5sec/step, step 0,02°.

Lo spettro di diffrazione è stato analizzato con la tecnica Rietveld-RIR utilizzando il software GSAS-EXPGUI.

Dall'analisi diffrattometrica si ottiene la composizione mineralogica quantitativa che è riportata in Tab. I.

Tabella I – composizione mineralogica del supporto

	% in peso
Quarzo	19,7 \pm 0,2
Mullite	8,2 \pm 0,4
K-feldspato	0,9 \pm 0,3
Ematite	1,4 \pm 0,2
Fase amorfa	69,8 \pm 1,4

L'analisi diffrattometrica qualitativa a raggi-X è stata eseguita sulla superficie di un frammento sia dello smalto interno sia dello smalto esterno. Le condizioni operative sono state: sorgente di raggi-X Cu K α , intervallo di scansione 2 θ . 10-60°, conteggio 1sec/step, step 0,02°. La composizione mineralogica qualitativa è riportata in Tab. II.

Dagli spettri di diffrazione si nota che nello smalto interno la fase amorfa è molto più abbondante.

Tabella II – composizione mineralogica dello smalto interno e dello smalto esterno

Smalto interno	Smalto esterno
Fase amorfa	Wollastonite – CaSiO ₃
Quarzo – SiO ₂	Quarzo – SiO ₂
Microclino – KAlSi ₃ O ₈	Silicato di magnesio – MgSiO ₃
Cristobalite – SiO ₂	Rutilo – TiO ₂
Silicato di alluminio – Al ₂ O ₃ 154SiO ₂	Ossido di ferro – Fe ₂ O ₃
Ossido di ferro – Fe ₂ O ₃	Ferrobrusamite – (Ca,Fe,Mn) ₃ Si ₃ O ₉
	Fase amorfa

La morfologia superficiale, sia dello smalto interno sia dello smalto esterno del tubo in gres, è stata analizzata mediante un profilometro ottico (LEICA DCM3D, D), utilizzando un obiettivo 20X ed acquisendo due matrici di immagini rappresentative di aree di circa 5x5 mm. In Fig. 4 sono riportate le immagini bidimensionali e tridimensionali degli smalti (interno ed esterno). Su tali aree sono stati determinati anche i parametri di rugosità superficiale 3D in accordo alla normativa ISO 25478, vedi Tab. III e Tab. IV, rispettivamente per lo smalto interno e per lo smalto esterno. Da tali parametri si evince che i due smalti non sono significativamente diversi, in quanto i parametri spaziali, ibridi e funzionali (general), sono piuttosto simili. I parametri di altezza e funzione sono invece leggermente più bassi nello smalto interno.

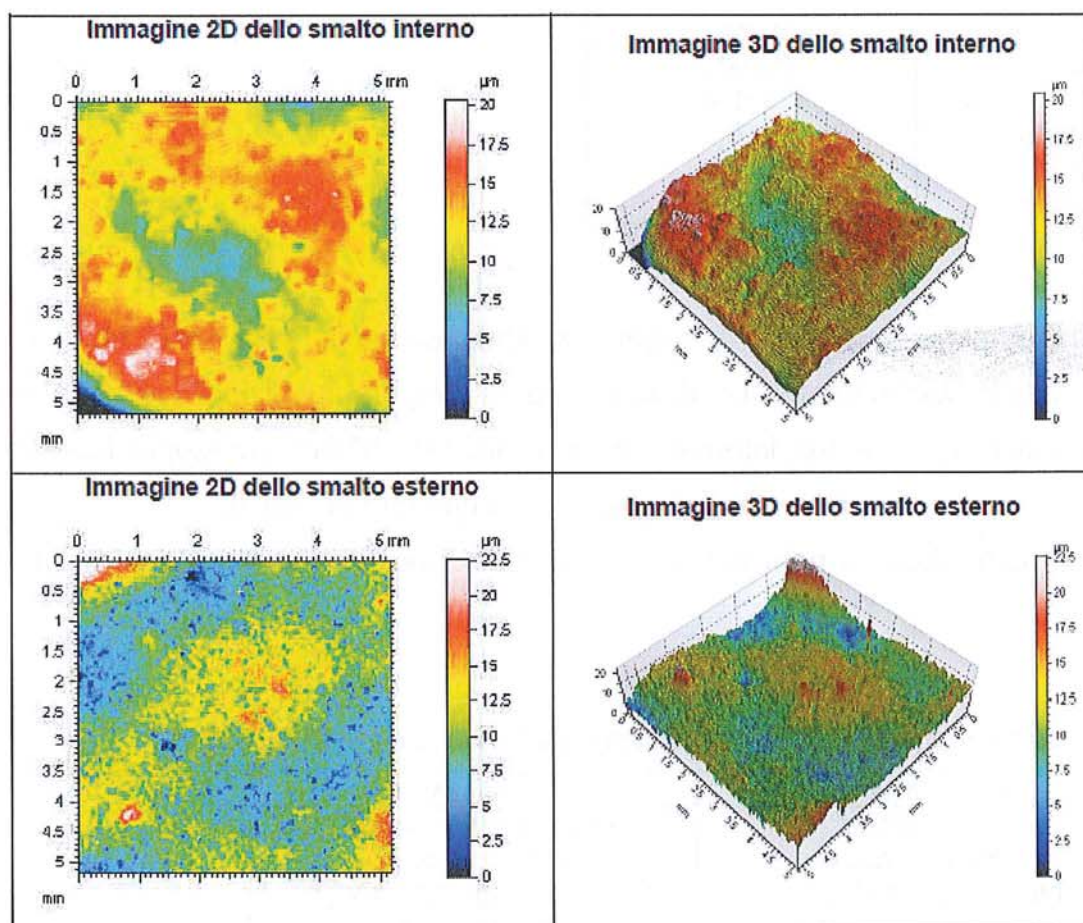


Figura 4: immagini al profilometro ottico della superficie dello smalto interno e dello smalto esterno

Tabella III – parametri di rugosità 3D dello smalto interno

ISO 25178			
Parametri di altezza			
Sq	2.57150	μm	Valore medio quadratico dell'altezza della superficie
Ssk	-0.646154		Asimmetria della superficie
Sku	4.92885		Curvosi della superficie
Sa	1.95594	μm	Altezza media aritmetica della superficie
Sp	8.31132	μm	Altezza massima del picco della superficie
Sv	12.0807	μm	Altezza massima della luca della superficie
Sz	20.3920	μm	Altezza massima della superficie
Parametri spaziali			
Sal	0.638727	mm	Lunghezza di autocorrelazione della superficie
Str	0.390600		Rapporto trama/aspetto della superficie
Std	7.75014	°	Direzione della trama della superficie
Parametri funzione			
Spd	4.37015	1/mm ²	Densità dei picchi della superficie
Spc	11.5813	1/mm	Curvatura media aritmetica dei picchi della superficie
Spd	4.37015	1/mm ²	Densità dei picchi della superficie
Spc	11.5813	1/mm	Curvatura media aritmetica dei picchi della superficie
S10z	7.50430	μm	Altezza di dieci punti della superficie
S5p	4.40449	μm	Altezza di cinque punti di picco della superficie
S5v	3.09981	μm	Altezza di cinque punti di luca della superficie
Sda	0.251563	mm ²	Area media piccole valli
Sha	0.206026	mm ²	Area media piccoli
Sdv	1.69054e-005	mm ³	Volume medio piccole valli
Shv	2.02608e-005	mm ³	Volume medio piccoli
Parametri ibridi			
Sdq	0.0322711		Valore medio quadratico del gradiente della superficie
Sdr	0.0520211	%	Rapporto area interfaciale sviluppato della superficie
Parametri funzionali (generali)			
Smr	0.039212	%	Rapporto materiale areale della superficie
Smc	3.12609	μm	Rapporto materiale areale inverso della superficie
Sxp	5.26093	μm	Altezza del picco estremo

Tabella IV – parametri di rugosità 3D dello smalto esterno

ISO 25178			
Parametri di altezza			
Sq	2.95486	μm	Valore medio quadratico dell'altezza della superficie
Ssk	0.308115		Asimmetria della superficie
Sku	4.68172		Curtosi della superficie
Sa	2.27096	μm	Altezza media aritmetica della superficie
Sp	13.1689	μm	Altezza massima del picco della superficie
Sv	9.46842	μm	Altezza massima della luca della superficie
Sz	22.6373	μm	Altezza massima della superficie
Parametri spaziali			
Sal	0.544227	mm	Lunghezza di autocorrelazione della superficie
Str	0.486784		Rapporto trasversetto della superficie
Std	137.252	°	Direzione della trama della superficie
Parametri funzione			
Spd	21.7760	1/mm ²	Densità dei picchi della superficie
Spc	31.8741	1/mm	Curvatura media aritmetica dei picchi della superficie
Spd	21.7760	1/mm ²	Densità dei picchi della superficie
Spc	31.8741	1/mm	Curvatura media aritmetica dei picchi della superficie
S10z	21.2227	μm	Altezza di dieci punti della superficie
S5p	12.8167	μm	Altezza di cinque punti di picco della superficie
S5v	8.40601	μm	Altezza di cinque punti di luca della superficie
Sda	0.0116739	mm ²	Area media piccole valli
Sha	0.0403419	mm ²	Area media piccoli
Sdv	2.52722e-006	mm ³	Volume medio piccole valli
Shv	4.02291e-006	mm ³	Volume medio piccoli
Parametri ibridi			
Sdq	0.114462		Valore medio quadratico del gradiente della superficie
Sdr	0.647053	%	Rapporto area interfaciale sviluppato della superficie
Parametri funzionali (generali)			
Smr	0.336040	%	Rapporto materiale areale della superficie
Smc	3.52262	μm	Rapporto materiale areale inverso della superficie
Sxp	5.72223	μm	Altezza del picco estremo

Sono state eseguite anche misure di durezza Vickers. La prova è stata condotta secondo la norma UNI EN 843-4:2005. utilizzando le seguenti condizioni operative: carico 0,5 kg, ingrandimento -40X, tempo di applicazione del carico -15 s.

Il risultato è stato ottenuto come valore medio di 15 indentazioni

Hv = 5,8 GPa Dev.St. = 0,3 GPa

La durezza Vickers viene misurata applicando un carico noto e misurando le diagonali dell'impronta lasciata, sulla superficie del campione, da un penetratore di diamante. A titolo comparativo si riporta il valore di durezza Vickers del quarzo che è di 11,5 GPa; in una scala Mohs il materiale testato si posizionerebbe tra la fluorite (Hv = 1,8 GPa) e l'apatite (Hv = 6,5 GPa)

Le caratteristiche dei tubi in gres in relazione alla microstruttura e alle caratteristiche chimico/ fisiche. Previsioni di durabilità.

Come già detto, il gres ceramico impiegato nelle condotte per fognature si presenta come un materiale a impasto colorato, dotato di eccellenti caratteristiche di resistenza meccanica, di durezza e inalterabilità all'aggressione della maggior parte degli agenti chimici. Soltanto l'acido fluoridrico e le soluzioni alcaline concentrate e ad alta temperatura lo riescono a intaccare chimicamente. Tali caratteristiche sono la diretta conseguenza delle reazioni chimico-fisiche che intervengono durante la cottura e che, come evidenziato dalle analisi descritte al paragrafo precedente, portano alla formazione di un'abbondante fase vetrosa-amorfa, in cui sono dispersi granuli di quarzo, e allo sviluppo di fasi cristalline di neoformazione quali la mullite (come evidenziato in figura 2 – immagini al SEM della superficie interna del campione in sezione trasversale). E' noto che la mullite è una fase cristallina particolarmente stabile e, come tale, è un componente fondamentale anche di altri materiali ceramici quali la porcellana ed i refrattari; le sue caratteristiche, oltre alla resistenza meccanica anche ad alte temperature ed alla stabilità termica, sono l'eccellente resistenza all'attacco chimico ed all'abrasione. La presenza di questo minerale, in ragione del 10% circa, unita a quella del quarzo, determina le elevate prestazioni chimico-fisiche, la durabilità e la stabilità nel tempo del gres ceramico.

Altra caratteristica emersa dall'analisi microstrutturale, è l'ottimo ancoraggio dello strato di smalto superficiale sulla massa amorfa sottostante. Di fatto lo strato vetroso esterno liscio, compatto ed impermeabile, costituisce un tutt'uno con lo strato di base fornendo così al materiale:

- una rugosità superficiale molto contenuta
- un ottima resistenza all'abrasione
- una buona durezza (durezza Vickers = 5,8 GPa)

Le caratteristiche microstrutturali e mineralogiche descritte, i riferimenti tecnici riportati nell'ampia documentazione tecnica, appresso citata, e la storia dell'utilizzo del materiale, portano a definire il gres ceramico come un materiale assolutamente stabile nel tempo con caratteristiche chimico fisiche costanti e inalterabili per un lungo periodo la cui durabilità complessiva può essere fissata intorno ai 100 anni.

4-La specifica tecnica dei tubi in gres con riferimento alla normativa internazionale.

Una tubazione impiegata nelle reti fognarie è sollecitata, durante il suo esercizio, da una serie di azioni esterne che possono essere sinteticamente elencate in :

- carichi meccanici
- aggressione chimica
- abrasione
- aggressione elettrochimica.

A queste sollecitazioni la condotta deve rispondere con caratteristiche prestazionali quali:

- la stabilità dimensionale
- la tenuta idraulica
- la velocità di autopulizia.
- la durezza superficiale
- la bassa scabrezza idraulica
- l'inerzia all'aggressione chimica

Nel caso delle tubazioni in gres la risposta in termini di prestazioni è garantita dalle caratteristiche microstrutturali, mineralogiche e fisiche del materiale ceramico, descritte nel

paragrafo precedente. La possibilità di trasmettere le eccellenti qualità del materiale (gres ceramico) al manufatto “tubo in gres ceramico”, è regolata dalla specifica norma tecnica di prodotto (UNI EN 295:2013), che costituisce protocollo di definizione delle caratteristiche prestazionali dei tubi in gres ceramico e dei relativi valori di accettazione in funzione della destinazione d’uso e delle sollecitazioni cui prevedibilmente sarà sottoposto durante la vita in esercizio.

La norma UNI EN 295 “Sistemi di tubazioni di gres per impianti di raccolta e smaltimento di acque reflue” è una norma armonizzata riconosciuta su tutto il territorio europeo; l’armonizzazione permette la marcatura CE del prodotto e questo consente la libera commercializzazione sul territorio comunitario.

La norma regola le caratteristiche di tutti i componenti in gres ceramico destinati alle reti di smaltimento dei reflui.

Per quanto riguarda espressamente le tubazioni essa si articola in quattro parti:

- EN 295-1: 2013 “Requisiti per tubi, elementi complementari e sistemi di giunzione”
- EN 295-2: 2013 “Valutazione di conformità e campionamento “
- EN 295-3 : 2012 “Metodi di prova”
- EN 295-7: 2013 “Requisiti per tubi e sistemi di giunzione di gres per tubazioni con posa a spinta”

I complementi, gli accessori e i pozzetti vengono regolamentati nelle altre parti:

- EN 295-4: 2013 “Requisiti per adattatori, connessioni e collegamenti flessibili”
- EN 295-5: 2013 “Requisiti per tubi perforati ed elementi complementari (pezzi speciali) “
- EN 295-6 :2013 “Requisiti per componenti per pozzetti e camere di ispezione”

Nello specifico la UNI EN 295 stabilisce:

a) i requisiti relativi alle dimensioni e alla forma:

nella 295-1: 2013 sono riportati i diametri nominali ed i relativi diametri minimi come indicato nel prospetto seguente

Dimensioni nominali DN	Diametro interno minimo (mm)	Dimensioni nominali DN	Diametro interno minimo (mm)
100	96	450	439
125	121	500	487
150	146	600	585
200	195	700	682
225	219	800	780
250	244	900	878
300	293	1000	975
350	341	1200	1170
400	390	1400	1365

Ortogonalità delle estremità – quando sottoposti a prova in conformità al punto 5.1 della EN 295-3:2012, lo scostamento rispetto all'ortogonalità misurata alle estremità dei tubi e degli elementi complementari diritti non deve essere maggiore di 6 mm per dimensione fino a DN 300 inclusa. Per dimensioni superiori a DN 300 lo scostamento non deve essere maggiore del 2 % della DN.

Scostamento dalla rettilineità – quando sottoposto a prova in conformità al punto 6 della EN 295-3:2012, lo scostamento rispetto alla rettilineità del corpo cilindrico di un tubo, con approssimazione di 1 millimetro più prossimo, non deve essere maggiore al valore indicato nel prospetto seguente

Dimensioni nominali	Massimo scostamento dalla rettilineità mm/m di lunghezza nominale
DN <150	5
150 ≤ DN < 200	4.5
200 ≤ DN ≤ 300	4
DN >300	3

- b) i requisiti relativi alla resistenza meccanica: la EN 295-1:2013 richiede la determinazione della resistenza allo schiacciamento F_N (kN/m); qui di seguito vengono riportati, a titolo esemplificativo, i valori di resistenza allo schiacciamento per alcuni diametri nominali ed alcune classi.

Diametro Nominale DN	CLASSE	Resistenza allo schiacciamento minimo kN/m
200	240	48
400	200	80
600	160	96
700	200	140
800	160	128

c) il requisito relativo alla tenuta all'acqua:

i tubi, le giunzioni o le sezioni di tubo devono essere sottoposte a prova in conformità al punto 12 della EN 295-3:2012. L'aggiunta di acqua W_{15} , necessaria per mantenere la pressione di 50kPa (0,5 bar) per 15 minuti, non deve essere maggiore di 0,04 l/m² di sezione interna bagnata del tubo e non devono inoltre essere presenti perdite visibili.

La EN 295-1:2013 infine prevede altre caratteristiche che hanno influenza sulle prestazioni del tubo e che sono sempre legate alle proprietà intrinseche del materiale ceramico. Tali caratteristiche sono:

- d) resistenza chimica : la norma riporta il metodo di prova che deve essere effettuata, in conformità al punto 13 della EN 295-3:2012, esponendo i provini ad ambiente acido, H_2SO_4 (0.5 mol/l), ad ambiente basico, NaOH (1,0 mol/l), e registrando le variazioni di peso; indica altresì i valori tipici di perdita di peso che sono contenuti tra lo 0.1% e 0.25% del peso iniziale del campione.
- e) rugosità idraulica : la rugosità idraulica deve essere misurata mediante prove in conformità al punto 15 della EN 295-3:2012 mediante calcolo del coefficiente di resistenza idraulica in funzione delle perdite di carico; i valori tipici rilevati sono $0.02 \div 0.05$ mm.
- f) resistenza all'abrasione: la norma attesta i valori di resistenza dei tubi, dichiarando i valori della profondità di abrasione sulle pareti, rilevati sottoponendo le condotte a prove in conformità al punto 15 della EN 295-3:2012. L'abrasione media, dopo 100.000 cicli, risulta dell'ordine di $0.25 \div 0.50$ mm.

g) assorbimento d'acqua: è una caratteristica fortemente legata alle proprietà intrinseche del materiale. La norma EN 295-1:2013 prevede che i tubi e gli elementi complementari debbano avere un valore di assorbimento d'acqua minore del 6 % quando sottoposti a prova in conformità al punto 28 della EN 295-3:2012.

Per necessaria completezza di trattazione si precisa che la EN 295-1:2013 tratta anche i requisiti per giunzioni e sistemi di giunzione, rimandando ai metodi di prova riportati nella EN 295-3:2012.

La disciplina normativa ampia e dettagliata a cui sono sottoposti i tubi in gres conferma la completa trasposizione delle caratteristiche microstrutturali e chimico/fisiche rilevate nel materiale ceramico di base nelle caratteristiche prestazionali delle tubazioni. La stretta connessione del disciplinare di produzione alle caratteristiche del materiale consentono alla norma UNI EN 295 di indicare in 100 anni la durata utile di una condotta in gres ceramico installata correttamente.

5 - I tubi in gres ceramico: aspetti tecnici, tecnologici ed applicativi. Documentazione bibliografica.

I tubi in gres ceramico sono tra i materiali impiegati da più tempo per la realizzazione di reti per il convogliamento e il trasporto delle acque reflue di insediamenti civili e industriali. Su può datare l'inizio dell'impiego dei tubi in gres, nel campo fognario, all'inizio del 1800, con un ampio utilizzo sia in America (Stati Uniti e Canada) che in Europa.

La diffusione di questi manufatti risiede nelle caratteristiche peculiari del materiale ceramico con cui si costruisce il tubo: caratteristiche che risultano fondamentali se messe in relazione alle sollecitazioni di varia natura che un tubo per fognatura incontra nella vita in esercizio.

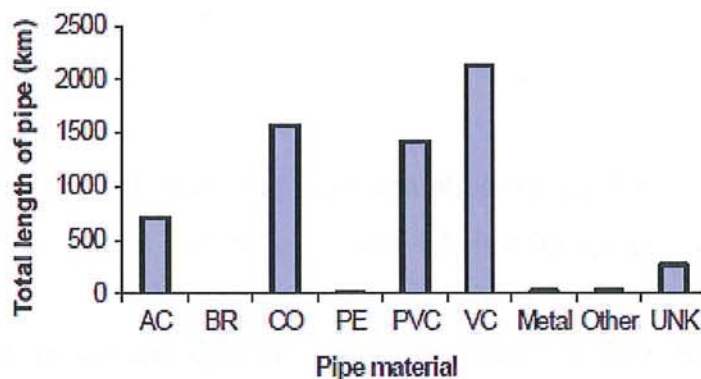
La testimonianza della rispondenza delle prestazioni del tubo di gres alle caratteristiche richieste al condotto fognario viene dalle citazioni riscontrabili nella bibliografia tecnica internazionale:

- L'US-EPA (Agenzia americana per la protezione dell'ambiente) in un documento tecnico sui materiali per tubazioni (4) riporta che " ... i tubi in ceramica sono in uso

da centinaia di anni, hanno buona resistenza meccanica e resistono bene alla corrosione chimica, all'abrasione interna ed all'attacco chimico esterno; sono resistenti al calore; hanno una dilatazione termica inferiore rispetto a quella di altri materiali".

- Davies e altri(5) analizzano i fattori che influenzano il deterioramento strutturale ed il collasso delle tubazioni rigide per fognature, notano in primo luogo che in Inghilterra la maggior parte (più del 70 %) delle condutture fognarie è realizzata con tubi in ceramica e ne riportano i vantaggi (vedi anche 6 -WSA): buona resistenza meccanica, ottima resistenza a quasi tutti gli agenti chimici, all'abrasione ed al calore.
- Parent (7) sostiene che la causa prima del cedimento dei tubi in calcestruzzo è l'azione corrosiva dell'acido solfidrico.
- Pomperoy (8) ha descritto dettagliatamente il ciclo dell'acido solfidrico e come può portare a corrosione specialmente dei materiali cementizi.
- Bortz (9) redige un dettagliato e documentato studio sulla durabilità dei tubi in gres, prendendo in esame gli aspetti e le caratteristiche che sulla durabilità hanno un ruolo importante. Lo studio evidenzia che:
 - per quanto attiene alla resistenza chimica sottolinea l'inerzia rispetto alla corrosione dovuta all'acido solforico generato da ossidazione dell'acido solfidrico; la resistenza chimica è notevole anche rispetto alla corrosione dovuta a fattori esterni (legati alla composizione del suolo);
 - è buona anche la resistenza all'abrasione, in paragone a quella di materiali alternativi;
 - essendo il materiale ceramico un materiale rigido, una volta che i tubi siano stati posati correttamente non subiscono alcuna variazione dimensionale (es. schiacciamento, allungamento) né sono soggetti a dilatazione termica;
 - data la natura della superficie smaltata (liscia ed uniforme) è garantita l'uniformità dello scorrimento del fluido; la buona resistenza all'abrasione fa

- si che la rugosità superficiale non aumenti e che quindi tale uniformità rimanga costante nel tempo
 - ai fini della valutazione economica, il costo relativo allo scavo per la posa in opera (o per il ripristino dell'esistente) è decisamente superiore al costo della tubazione: tale considerazione rende quindi molto importante la stima della durabilità
 - si può documentare una vita minima di 150 anni.
- Vincenzini et altri (10), nella rassegna sulle caratteristiche dei tubi di gres, notano che, dove è stato possibile effettuare confronti di comportamento a parità di liquame, si è constatata una migliore conservazione delle pareti delle condotte in gres rispetto ad altre, derivante dalla levigatezza dello strato superficiale vetroso del gres ceramico che facilita il deflusso dei depositi e limita le incrostazioni che si possono formare per effetto delle sostanze organiche presenti nei liquami.
- Potter (11) nel suo rapporto tecnico per calcolare il Life CycleCost delle condotte fognarie annota che “..fra i materiali comuni per tubazioni, il gres ceramico è quello che resiste meglio alla corrosione (ad eccezione dell'acido fluoridrico) e resiste molto bene all'abrasione. E' quindi molto durevole al deterioramento da parte di condizioni di esercizio corrosive o abrasive. In un'indagine del 1982 riporta oltre 50 esempi di fognature in gres ceramico in funzione da oltre 170 anni, a conferma di una durata in esercizio di 150 anni. Volendo fare stime da utilizzarsi ai fini di calcoli, l'autore adotta una valutazione cautelativa di 100 anni per la vita in esercizio dei tubi in gres.
- Newton e Vainer (12) in uno studio del 2006 sullo stato delle reti fognarie in Canada, descrivono l'utilizzo dei materiali negli oltre 9000 Km di fognature canadesi riportando la distribuzione annotata nel grafico (VC = vitrified clay = gres)



Riportano inoltre che la vita in esercizio di una tubazione per fognature varia a seconda del materiale, commentano che “...una tubazione rigida posata correttamente” e “non disturbata” può durare teoricamente centinaia di anni, come testimoniano le tubazioni esistenti” e, utilizzando opportuni modelli matematici, calcolano una vita prevista in esercizio (con un intervallo di confidenza di circa il 10%) fra 120 e 150 anni.

Sulla base dei dati prestazionali rilevati e delle osservazioni storiche sullo stato delle reti esaminate, si può quindi concludere che la letteratura tecnica è concorde nell’assegnare ai tubi in gres una vita in esercizio dell’ordine dei 100 anni.

6-Conclusioni

In questa relazione si è voluto definire in modo rigoroso, partendo dall'analisi del materiale di base, come le caratteristiche specifiche del materiale siano l'origine delle prestazioni finali del tubo.

Il gres ceramico, se considerato come materiale in sé, assomma caratteristiche particolarmente adatte alla fabbricazione di condotte per fognature.

IL soddisfacimento dei requisiti della norma UNI EN 295, può essere raggiunto solo mediante un ciclo produttivo rigoroso che permette di valorizzare le caratteristiche del "materiale gres ceramico"

Facendo una sintesi finale è doveroso pertanto richiamare le caratteristiche peculiari della condotta in gres:

- La resistenza all'abrasione: è superiore a quella di altri materiali alternativi (lapidei, organici, metallici)
- l'impermeabilità: grazie alle materie prime impiegate ed al ciclo termico ad alta temperatura, il corpo ceramico risulta greificato, cioè caratterizzato da una scarsissima porosità non comunicante od interconnessa, per cui risulta inibita l'infiltrazione del liquame verso l'ambiente ed inoltre il corpo ceramico è rivestito (internamente ed esternamente) da uno strato impermeabile di smalto.
- La resistenza meccanica: quando posato a regola d'arte il tubo in gres ha resistenze meccaniche compatibili con ogni tipo di suolo e di profondità di scavo
- La indeformabilità: la natura intrinseca del materiale ceramico esclude la possibilità di deformazioni sia a temperatura ambiente che per effetto di variazioni della temperatura (basso coefficiente di dilatazione termica).
- La resistenza chimica : il gres ceramico è praticamente inattaccabile da:
 - soluzioni acide anche a forte concentrazione (unica eccezione l'acido fluoridrico)
 - -soluzioni alcaline e detergenti domestici (unica eccezione le soluzioni basiche calde ad elevate concentrazioni)

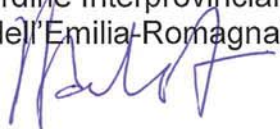
- liquami di scarico delle abitazioni e vapori gassosi (acido solfidrico) conseguenti alle putrefazioni;
- oli minerali, nafta e, più in generale sostanze organiche.
- L'inerzia elettrica: non esistono fenomeni di ossidazione e di elettroerosione.

E' indubbio che sulla durata della tubazione e sulle sue prestazioni possono influire anche altri fattori, quali gli sforzi meccanici cui è sottoposta la condotta interrata, le azioni dinamiche che possono sollecitare le tubazioni, le interazioni con il terreno di posa. La valutazione di questi fattori esula dallo scopo di questo studio. In questa sede si può solo dire che il corretto esercizio d'ingegneria durante la progettazione consente di determinare lo stato tensionale al quale è sottoposto il tubo interrato e a definirne le appropriate condizioni di installazione, fissando così le condizioni di installazione più appropriate in grado di garantire la perfetta efficienza del tubo per un periodo pari a quello che le caratteristiche evidenziate dal presente studio indicano.

In conclusione, il complesso delle caratteristiche esaminate, supportate da un adeguato sistema di controllo nella fase d'installazione, fa sì che la durata in esercizio dei tubi in gres, in assenza di eventi eccezionali, possa ritenersi superiore ai 100 anni.

Redazione Tecnica
Dr. Adelia Albertazzi

(n° A 1091 Ordine Interprovinciale dei Chimici
dell'Emilia-Romagna)



Il Direttore
Prof. Maria Chiara Bignozzi



Bibliografia

- 1-GiacomoPeco "I prodotti ceramici dalla tradizione all'alta tecnologia" Marzorati Editore 1991
- 2-Gian Paolo Emiliani, Francesco Corsara "Tecnologia Ceramica" Gruppo Editoriale Faenza Editrice 1999
- 3-Edward Naylor "Water infrastructure: Using claypipes for sewage and landdrainage" Filtration&Separation Volume 45, Supplement 1, 2008 pages 36-37
- 4-U.S. EnvironmentalProtection Agency " Wastewatertechnologyfactsheet-Pipe construction and materials" EPA 832-F-00-068, September 2000
- 5-J.P.Davies et al. "Factorsinfluencing the structuraldeterioration and collapse of rigidsewerpipes" Urban Water vol.3, March-June 2001, pagg. 73-89
- 6-US Water industrySewers and Water MainsCommittee (WSA) "Materialsselectionmanual for sewers, pumpingmains and manholes", 1993
- 7-R.A.Parent "Los Angeles concrete sewerassessmentprogram" NO-DIG 1987
- 8-R.D. Pomperoy "The problem of hydrogensulphide in sewers" Clay Pipe Development Association, 1981
- 9-S.A. Bortz "Durability of claypipes", Advances in Underground Pipeline Engineering, The Amer.Soc. Of Civ. Engineers, 1985
- 10-P.Vincenzini, G.Biffi, G, Ortelli "Tubi in gres per fognature – requisiti tecnologici,procedimenti di lavorazione e caratteristiche di impiego", Ceramurgia13 (1983), n. 4, pagg. 129-138
- 11-J.C. Potter "Life CycleCost for DrainageStructures", Technical Report GL-88-2 ,Department of the army, US ArmyCorps of Engineers, Washington, USA, 1988
- 12-L.A. Newton, D.J.Vanier "MIIP Report: the state of Canadian sewers-Analysis of assetinventory and conditions", National ResearchCouncil Canada, June 2006