

## TECNOLOGIE PER IL RECUPERO DEL COSTRUITO

**A.D.E.C.O.** (Ambienti a DEcontaminazione COntrollata)

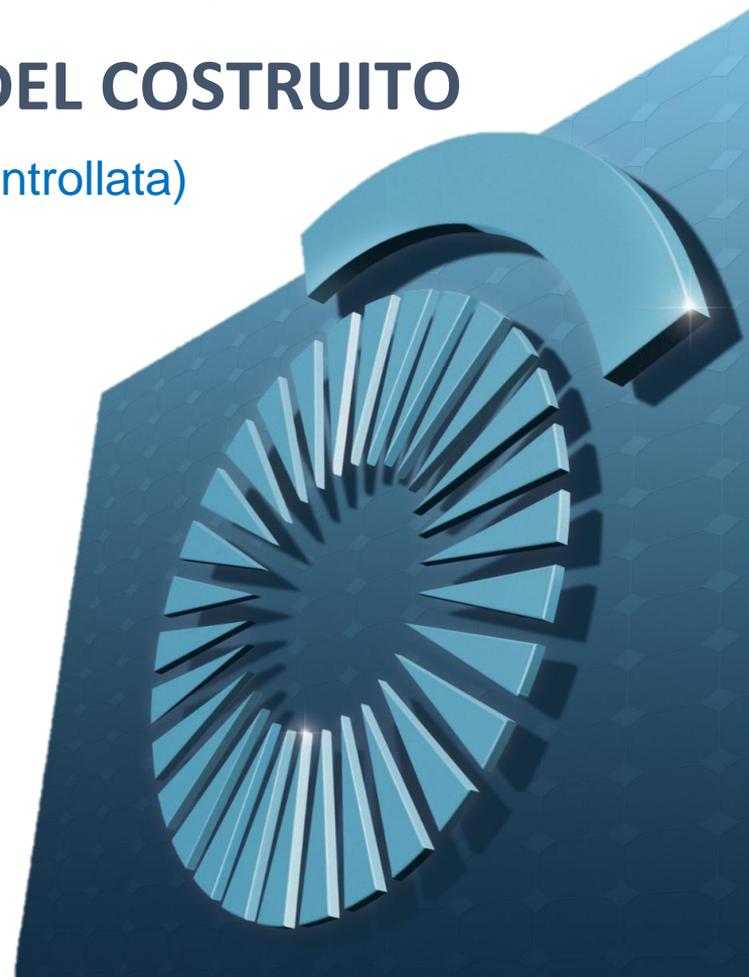
Conservazione dei beni artistici, storici e culturali

- DIAGNOSTICA E SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER LA RIQUALIFICAZIONE ED IL RISANAMENTO EDILIZIO
- TECNOLOGIE A DECONTAMINAZIONE CONTROLLATA PER AMBIENTI DA SANIFICARE

*CONVEGNO*

*MATERA 4 e 5 APRILE 2019*

*Ing. Carmine Rinaldi*



# PREMESSA

La base per una **corretta conservazione** dei beni artistici, storici e culturali, nonché dei luoghi ove essi sono conservati, non può che passare anche attraverso uno studio approfondito delle **corrette condizioni climatiche** (come valori di temperatura, pressione ed umidità), della **presenza di inquinamento da sostanze che possono depositarsi sulle superfici dei beni da conservare** (es. pulviscolo, particelle chimiche reagenti, ecc...) ed infine della **presenza di agenti biologici contaminanti** (es. funghi e licheni, muffe in genere, parassiti di varia natura e morfologia).

E' necessario inoltre considerare che tutti questi parametri possono essere influenzati notevolmente anche dalla variazione di presenza contemporanea in questi luoghi di persone, sia in termini di alterazione dei parametri di temperatura ed umidità relativa che di trasporto in loco di pulviscolo ed altre tipologie di inquinanti.



## SUI QUALI AGIRE

Sulla base di quanto sopra enunciato è possibile indicare quali siano le strategie ed i **parametri ambientali** sui quali agire:

1. E' necessario che i valori di temperatura siano idonei alla conservazione mediante un controllo microclimatico in grado di assorbire le variazioni naturali o provocate dalla presenza umana;
2. I valori del tasso di umidità siano idonei alla conservazione sia dal punto di vista delle problematiche meccaniche che da quello delle problematiche biologiche;
3. Le condizioni di ventilazione dei volumi e delle superfici siano in grado di prevenire fenomeni di deposizione di particolati e/o simili sulle superfici;
4. Si mantenga un corretto stato di umidità all'interno delle murature, delle pavimentazioni e dei solai in modo tale da garantire la tenuta delle superfici, specie se affrescate, la loro inalterabilità ed evitare i fenomeni di trasporto elettrochimico sulle decorazioni, pitture e simili aderenti alle murature;

5. Si mantenga il corretto stato di umidità all'interno delle murature in modo da evitare fenomeni di assorbimento, variazioni di volume con rigonfiamenti o ritiri del substrato o del fondo delle pareti affrescate, con conseguenti fenomeni di ritiro e fessurazione, e/o presenza di efflorescenze saline;
6. Siano create le condizioni di mantenimento e controllo biologico sulle muffe e altri organismi saprofiti nonché su batteri ed altri organismi dannosi mediante creazione di un ambiente sfavorevole alla loro vita o in grado di eradicarli;
7. Siano create le condizioni di contenimento di pulviscoli e particolati limitando drasticamente i moti convettivi dell'aria, suscettibili di innescare fenomeni di trasporto sulle superfici, ed impiegando tecniche di "nucleazione" delle particelle in grado di appesantire e depositare per effetto gravimetro le particelle sospese.

**Tali azioni dovranno essere conseguite mediante adozione di misure ed accorgimenti coordinati a costituire un sistema pianificato di protezione e prevenzione, in grado cioè non solo di risolvere i problemi presenti ma anche di mantenere nel tempo la sua funzione protettiva realizzando opera di prevenzione.**

# OBIETTIVI

Sarà possibile conseguire i risultati di cui sopra realizzando:

1. un impianto di climatizzazione ad uso specifico conservativo in grado di rinnovare inoltre l'aria ambiente
2. un impianto di deumidificazione e mantenimento del giusto tasso di U.R.
3. un sistema di trattamento e sanificazione dell'aria e dell'ambiente

Secondo quanto evidenziato si riporta una tabella che illustra sinteticamente i **fattori che influenzano le condizioni degli interni e le potenziali situazioni che contribuiscono all'instaurarsi del degrado**

Sorgente	Danno	Cause Frequenti
Umidità relativa troppo elevata	Insorgenza di muffe	Cambiamento meteorologico e climatico
	Insorgenza di funghi	Presenza di condensa, infiltrazioni di acqua
Rapide variazioni di umidità relativa	Fessurazione	Ventilazione inadeguata
	Raggrinzimento	Umidità proveniente dal suolo
	Deformazione	Presenza di condensa superficiale
Temperatura non costante	Aumento del degrado	Assenza di controllo e regolazione della temperatura
	Infragilimento	Cambiamenti climatici esterni
Rapide variazioni di temperatura	Fessurazione	Assenza di controllo e regolazione della temperatura
	Raggrinzimento	
	Deformazione	
Muffe	Danneggiamento superficiale	Umidità relativa elevata
Funghi	Danneggiamento superficiale	Umidità relativa elevata
Aeriformi, acidi, particolati, sporco, polvere	Degrado dei materiali	Prossimità alle strade
		Mancanza di filtrazione dell'aria
		Chiusura inadeguata di porte e finestre, manutenzione inadeguata dell'edificio
		Disinfestazione e utilizzo di prodotti chimici non idonei

Nell'ottica di quanto precedentemente descritto dovranno quindi essere realizzate una serie di opere atte al raggiungimento dei requisiti descritti che debbono comunque sempre rispondere alla basilare esigenza di avere **un bassissimo livello di invasività**.

Pertanto, le **caratteristiche delle soluzioni che dovrebbero essere attuate**, risultano essere:

- **un bassissimo livello di invasività;**
- **azioni costanti nel tempo finalizzate a prevenire la ricomparsa di agenti biologici attraverso la sanificazione dell'aria e delle superfici;**
- **azioni costanti nel tempo finalizzate a prevenire l'ingresso in ambiente di materiale particellare proveniente dall'esterno;**
- **azioni costanti nel tempo finalizzate a mantenere le condizioni termoigrometriche all'interno di un range definito, adeguandone l'intensità in funzione delle condizioni ambientali esterne;**
- **compatibilità con la presenza dell'uomo al fine di permettere una futura fruibilità degli ambienti senza la necessità di imporre prescrizioni specifiche;**
- **inalterabilità delle caratteristiche fisiche e quindi estetiche delle superfici.**

I risultati di cui al primo degli obiettivi (Un impianto di climatizzazione ad uso specifico conservativo in grado di rinnovare e trattare l'aria ambiente) si possono ottenere in genere mediante l'impiego di macchine condizionatrici disposte in posizione idonea, in modo tale da poter disporre dei ricambi di aria per il rinnovo della stessa e per lo smaltimento del carico termico. In realtà la casistica di impiego di tali macchinari è estesa e articolata in dipendenza delle specificità dei luoghi, delle problematiche climatiche e del grado di precisione dei parametri termoigrometrici desiderati. Questi aspetti che a prima vista possono sembrare secondari, sono invece dirimenti nei riguardi dell'ambiente conservativo e dei beni e materiali custoditi.

Le **tipologie impiantistiche** che potranno essere utilizzate dovranno tener conto delle seguenti limitazioni legate alla natura dei luoghi:

- **Disponibilità degli spazi tecnici ove ubicare il macchinario;**
- **Impossibilità, se non in casi particolari, di effettuare opere edilizie per l'alloggiamento di componenti d'impianto;**
- **Necessità di contenimento del rumore;**
- **Necessità di realizzare opere con bassissima invasività (se non nulla) a causa della natura delle strutture edilizie sottoposte a vincolo (storico, artistico, architettonico ecc.);**
- **I flussi d'aria dovranno essere canalizzati ( se possibile) all'esterno degli ambienti oggetto di intervento per evidenti ragioni di invasività e di impatto visivo/estetico oppure impiegare flussi dell'aria di modesta entità e con bassa velocità gestiti con meccanismo a lancio d'aria.**
- **Quest'ultima modalità è inoltre da preferirsi adottando flussi dell'aria rivolti verso il basso onde evitare l'insorgere di movimenti della stessa verso pareti, componenti interni, affrescature, ciò sia per il loro mantenimento sia per limitare i fenomeni di trasporto dei pulviscoli comunque presenti.**

Relativamente alla tipologia del macchinario la preferenza deve essere individuata nell'ambito di unità condizionatrici previste per il massimo dei trattamenti e con impiego di sistemi di filtrazione in classe G4.

Per quanto concerne i parametri di settaggio degli impianti si può osservare che salvo situazioni particolari da trattare caso per caso, i normali parametri termoigrometrici relativi alle condizioni di benessere fisico umano risultano idonei anche per questa tipologia di impianti.

Caso a parte va considerata la possibilità di affollamento periodico di questa tipologia di ambienti, per i quali l'incremento delle presenze è sempre problematico in quanto determina variazioni repentine del carico termico, dell'umidità e della necessità di ricambi orari anche molto consistenti.



I risultati di cui al secondo degli obiettivi (un impianto di deumidificazione e mantenimento del giusto tasso di U.R) citati si otterranno mediante azione combinata tra l'impianto che assicurerà il corretto microclima precedentemente descritto ed un sistema di deumidificazione sistematica della struttura. Infatti si può osservare che il giovamento associato ad un sistema di controllo dell'umidità dell'aria, pur se indispensabile per il corretto mantenimento delle opere, non è sufficiente in quanto il manifestarsi di possibili infiltrazioni di umidità da risalita all'interno delle murature determina la pratica impossibilità di raggiungere condizioni igrometriche accettabili.

Il fenomeno, ormai ampiamente studiato e conosciuto, è sostanzialmente assimilabile ad un fenomeno osmotico. La risalita capillare nelle murature è legata essenzialmente alla capacità dell'acqua di penetrare nelle murature e di risalire verso l'alto attraverso la rete dei capillari presenti all'interno dei materiali da costruzione.

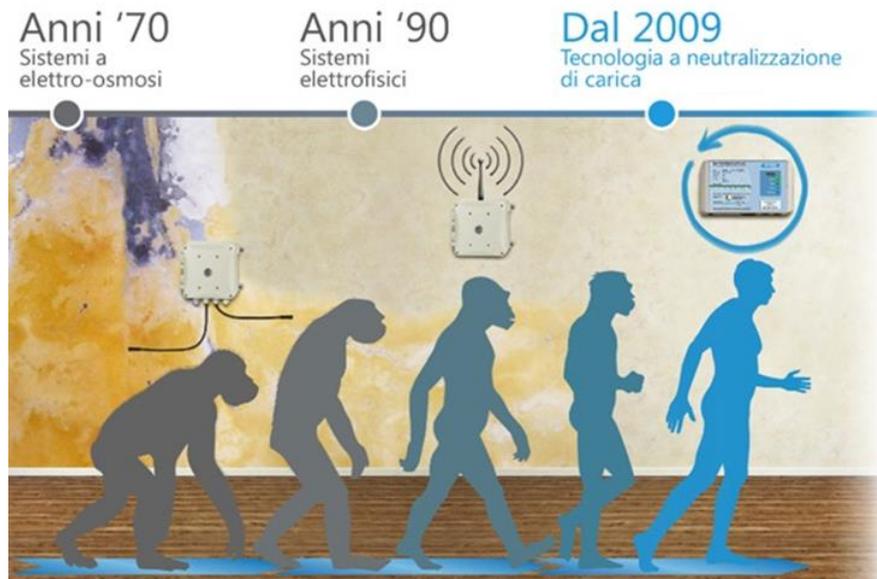
Pertanto tutti gli accorgimenti necessari all'eliminazione di tale umidità mediante asciugatura (passaggio di tale acqua dalla muratura all'aria) risultano vani perché per quanta acqua possa evaporare attraverso i muri, altrettanta ne risalirà rimanendo comunque bagnato.

L'unico sistema valido per la limitazione dell'umidità sarebbe quello di impedire la risalita mediante barriere impermeabili o mediante sistemi che inibiscano il meccanismo elettrico/elettrostatico della risalita.

Il primo di questi due accorgimenti non è praticabile, comportando interventi invasivi sulle murature, tagli, tracciamenti, inserimenti di materiali estranei al corpo della muratura e non ammissibili su strutture sottoposte a vincolo. L'unico altro tipo di intervento prevedibile riguarda quindi l'inibizione del meccanismo di risalita basato sulla funzione elettrica/elettrostatica.

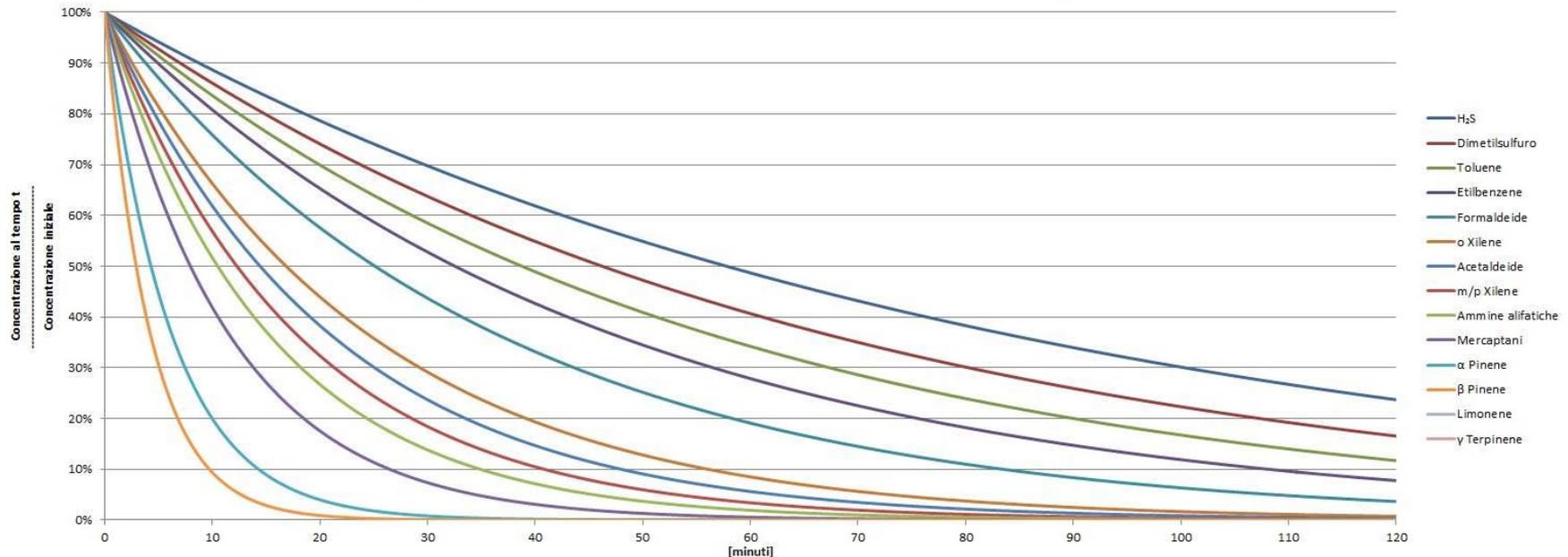
Il risultato verrà conseguito impiegando apparecchi denominati CNT (Tecnologia a Neutralizzazione di Carica) in grado di effettuare una neutralizzazione sull'acqua.

### T.N.C. : l'ultima tappa... dell'Evolutione!



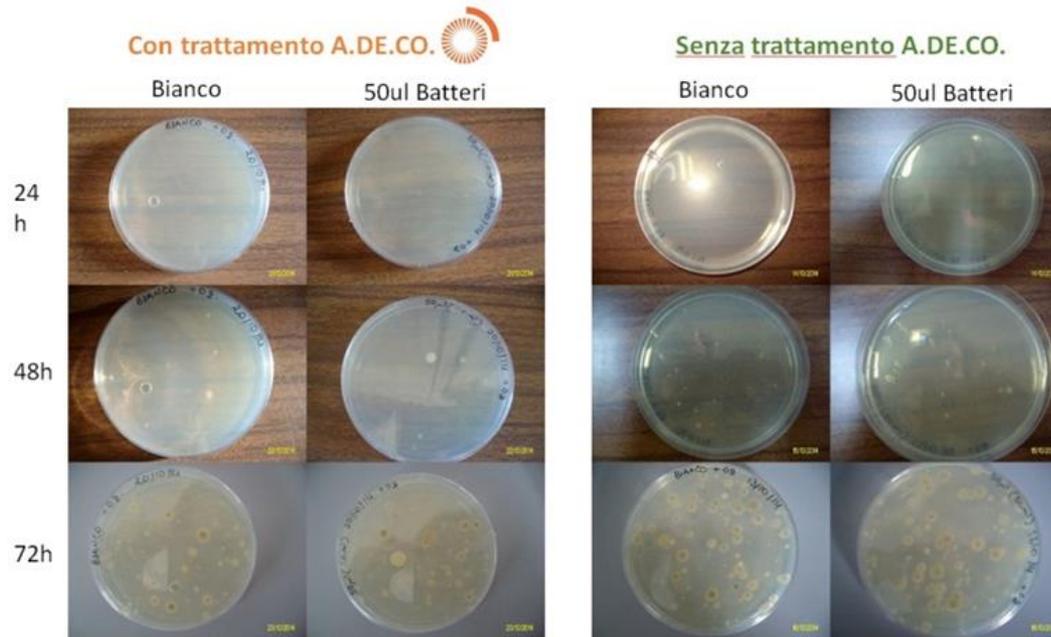
I risultati di cui al terzo degli obiettivi (un sistema di trattamento e sanificazione dell'aria e dell'ambiente) indicati si otterranno mediante l'impiego di un apposito sistema altamente innovativo denominato A.DE.CO. (Ambienti a Decontaminazione Controllata) basato sull'interazione tra gas inquinanti, particolato, VOC (volatile organic compound) e un plasma freddo prodotto dal sistema. Il plasma citato viene immesso in ambiente quale miscela con aria di componenti ionici, molecole di perossidi e radicali OH i quali reagiscono con i VOC e altri inquinanti abbattendoli.

Curve di rimozione degli inquinanti in funzione del tempo di residenza (fino a 2 ore)



L'azione del sistema A.DE.CO. si estende inoltre alle interazioni con gli organismi saprofiti come funghi e muffe presenti sia sulle pareti dell'ambiente sia sulle superfici degli oggetti interni, distruggendone le basi vitali e sterilizzando le spore. Analogo meccanismo viene esercitato su batteri ed altri organismi unicellulari nei quali l'azione del plasma A.DE.CO. distrugge le membrane cellulari. La presenza di composti ionici inoltre determina il fenomeno della nucleazione sul particolato, corpi estranei, spore e simili con aggressione delle particelle ioniche, crescita in volume e peso e precipitazione gravimetrica al suolo.

Sono state condotte sperimentazioni dall'istituto IBAF del Consiglio Nazionale delle Ricerche su batteri che comprendevano i generi Bacillus, Pseudomonas e Micrococcus e su muffe appartenenti ai generi Penicillium ed Aspergillus che sono comunemente presenti in ambienti confinati. L'effetto inibitorio di crescita prodotto ed osservato può essere sicuramente estendibile anche a micro organismi patogeni ma per ovvie ragioni di sicurezza tale studio non è stato effettuato.



E' stato eseguito un campionamento di tipo passivo con l'utilizzo di piastre Petri di sedimentazione per misurare l'efficacia del Sistema Adeco attraverso la differenza tra la carica batterica determinata quando il sistema era spento rispetto a quanto veniva acceso contando il numero delle colonie formatesi a differenti tempi di incubazione (24 ore – 48 ore – 72 ore). Il confronto tra i contenuti di batteri misurati nell'ambiente prima e dopo l'attivazione del sistema di abbattimento ha mostrato che esso è in grado di provocare una diminuzione della carica batterica totale del 50-60% dopo 24 ore e del 70% dopo 72 ore. Analogo risultato è stato ottenuto per le muffe.

Il problema della qualità dell'aria negli ambienti indoor (IAQ) ha indotto nell'ultimo ventennio una impennata dell'interesse del mondo scientifico prevalentemente nei riguardi dei riflessi indotti sulla salute umana delle generazioni attuali e di quelle future. I risvolti di tale interesse e le problematiche relative investono molti campi, com'è naturale, e riguardano un po' tutti i settori nei quali si ha a che fare con gli ambienti confinati. Si va dalle strutture tradizionali di civile abitazione, ai luoghi di lavoro, alle strutture ricreative fino alle strutture sanitarie con problematiche che investono forme allergiche, ipersensibilità agli inquinanti siano essi biologici che chimici, problemi di immunodepressione e simili. In questo contesto le problematiche dell'inquinamento ambientale trovano l'anello di congiunzione con le tecnologie ed impiantistiche finalizzate alla conservazione e recupero dei beni storici ed artistici nella circostanza che i fenomeni citati non hanno esclusivamente interazione con la salute umana ma anche con le caratteristiche di conservazione dei beni artistici, storici e culturali.

Ciò è da mettere in relazione diretta con l'aggressione che l'inquinamento opera su tali beni in forme di carattere chimico ma anche biologico con l'azione di muffe ed altri microrganismi, con l'azione che i VOC esercitano sulle carte e altri materiali ad esse assimilabili.

La tecnologia ADECO è invece in grado di abbattere questi inquinanti attraverso dei processi ossidativi e senza impiego di alcun componente chimico o reagente. Essa si basa sull'integrazione di ormai noti processi di natura fotochimica, elettrica e meccanica autoregolando i potenziali ossidativi in funzione delle reali condizioni ambientali (ad esempio il livello di concentrazione di inquinanti) soddisfacendo la necessità di armonizzare le esigenze di contenimento delle dispersioni termiche e, quindi, di consumo di energia con il mantenimento di una elevata qualità del microclima interno, limitando nel contempo l'insorgenza di patologie associate all'inquinamento indoor.

La tendenza evidenzia come il monitoraggio IAQ si stia spostando da sistemi passivi verso sistemi intelligenti per aiutare gli utenti e gli operatori a raggiungere i livelli ambientali desiderati a mantenere le prestazioni ottimali.

La tecnologia ADECO si basa sulla formazione di un plasma gassoso ottenuto per effetto "Corona" sui componenti dell'aria. Tale plasma è altamente reattivo ed in grado di interagire in modo efficace sui composti volatili inquinanti. L'azione del plasma gassoso è poi messa in combinazione con l'azione fotochimica della radiazione UV in grado di esaltare i fenomeni ossidativi del VOC.

Tale trattamento viene previsto a valle oppure in parallelo a quello termoigrometrico precedentemente descritto. La collocazione fisica dei dispositivi ADECO può così essere prevista:

- In un sistema di trattamento dell'aria canalizzato, mediante unità collocate sui canali di distribuzione;
- In sistemi non canalizzabili ma di modesta entità possono essere installate unità autonome complete di ventilatori ed ausiliari. In tal caso possono essere impiegate unità compatte per installazione da tavolo o da parete;
- In sistemi di maggiore ampiezza il macchinario può essere costituito da unità di trattamento complete di filtri, ventilatore, moduli plasma, sistemi ausiliari 'per il controllo della produzione del plasma. In tal caso l'aria impiegata per la produzione del plasma gassoso potrà essere la stessa aria interna del volume da trattare.
- Nei microsistemi associati a split singoli sarà costituito da celle al plasma miniaturizzate in combinazione con lampade fotochimiche UV.

In generale, fatte salve le osservazioni precedenti, i dispositivi A.DE.CO. avranno una configurazione “custom” in maniera tale da adeguarsi all’architettura degli spazi a disposizione ed ai sistemi climatizzanti impiegati.

Nella configurazione più generale un sistema ADECO sarà composto da:

- Un reattore ossidativo principale costituito da un sistema a scarica a corona controllata per limitare una eccessiva produzione di ozono;
- Reattori fotolitici ausiliari secondari, costituiti da lampade UV di diverse lunghezze d’onda poste in serie allo scopo di ottenere distinte funzioni: danneggiare il metabolismo di agenti patogeni, decomporre l’ozono in radicali OH che hanno un tempo di emivita molto più breve dell’ozono e sono in grado di ossidare più rapidamente i VOC convertendoli in CO<sub>2</sub>. Questi radicali inoltre esplicano anche la funzione di danneggiare le membrane cellulari di batteri e virus in aggiunta all’effetto prodotto dalla sola reazione UV.
- Un impattore di particolato organico costituito da due unità in serie, con il compito di ridurre il carico aerosolico organico al fine di mantenere pulita la superficie del reattore primario a scarica a corona e contemporaneamente rimuovere gli agenti patogeni presenti in aria.
- Un denuder a carbone del tipo honeycomb a mattonella con il compito di rimuovere parzialmente i composti meno ossidabili dal reattore primario e contemporaneamente tenere bassi i livelli di ozono convertendoli in O<sub>2</sub>.

In conclusione la combinazione sinergica dei processi a scarica a corona e lampade con radiazioni UV, con la capacità di variare temperatura ed umidità dell'aria immessa in ambiente, frutto di anni di ricerca industriale e sviluppo sperimentale validata dall'Istituto di Metodologie Chimiche e dall'Istituto di Biologia Agroalimentare e Forestale del Consiglio Nazionale delle Ricerche, rappresenta il cuore della tecnologia innovativa A.DE.CO. e costituisce un considerevole miglioramento rispetto al comportamento dei tradizionali sistemi di climatizzazione e trattamento dell'aria con funzioni sia di benessere che di conservazione in ambienti museali.

## CASO STUDIO

Le tecnologie sopra descritte hanno avuto la loro applicazione finalizzata al risanamento ambientale della Cripta di S. Agnese in Agone (Piazza Navona, Roma) al fine di rendere i luoghi della Cripta idonei al successivo restauro degli affreschi e quindi all'apertura al pubblico ed ai fedeli di questo luogo.

Dal sito della Cripta di S. Agnese possono essere seguiti gli aggiornamenti sullo stato di avanzamento dei lavori di restauro.



Nella Cripta della Chiesa si verifica una forte aggressione alle pareti a causa anche dell'umidità saliente dal sottosuolo, causata dalla incontrollabile idrografia del sottosuolo della città che ha già provocato la perdita di parte degli affreschi che ornano le pareti della Cripta.



Antico oratorio. Altare del luogo del martirio



Ambiente adiacente al luogo del martirio.



Dipinto raffigurante Il Salvatore in trono tra gli Arcangeli Gabriele e Michele. (Cisterna 1893)



Ruderi di un settore dello Stadio di Domiziano.



Aula principale della Cripta.



Dipinto raffigurante S. Cecilia.



cappella dell'altare di S. Agnese.



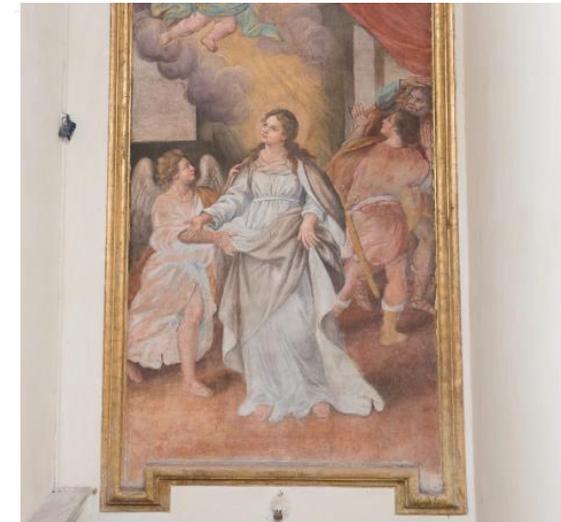
Dipinto raffigurante Madonna con bambino.



*Altare marmoreo raffigurante S. Agnese rivestita dei suoi capelli e condotta al martirio. ( Buratti 1661)*



*Scala di accesso all'aula principale.*



*Affresco seicentesco raffigurante S. Agnese sostenuta dall'Angelo.*

Le attività hanno inizio nel Marzo 2017 con l'istituzione di una Commissione Tecnico-Scientifica-Pastorale per il restauro della Cripta. Tra Aprile e Giugno 2017 vengono svolte le attività di analisi storico e tecnico-scientifiche per l'individuazione delle soluzioni di intervento. Tra Luglio e Ottobre 2017 vengono identificati i requisiti richiesti per il risanamento ambientale confermati dal MIBACT.

Nell'Ottobre 2017 la Commissione decide di affidare a RI.EL.CO Impianti Srl il risanamento della Cripta e al CNR la responsabilità di seguire dal punto di vista scientifico le attività di risanamento con un programma da svilupparsi in due anni al fine di verificare in modo scientifico e rigoroso gli effetti prodotti dal sistema. Nel Luglio del 2018 vengono stipulati i contratti con RI.EL.CO Impianti Srl e CNR; nel Settembre 2018 inizia l'installazione dell'impianto e a fine Ottobre si avvia la sperimentazione.

L'impiantistica installata comprende:

- ❑ Impianto di condizionamento disposto in prossimità delle aperture esistenti, in modo da poter consentire i ricambi d'aria necessari e lo smaltimento del carico termico.
- ❑ Impianto di deumidificazione in grado di ridurre il contenuto di acqua e vapore nei materiali della struttura.
- ❑ Sistema CNT (Charge Neutralization Technology) di neutralizzazione delle cariche elettriche dell'acqua presenti sul pavimento a contatto con la muratura (per evitare la risalita capillare).
- ❑ Sistema di sanificazione basato sull'uso di un plasma freddo in fase gassosa, che se immesso nell'ambiente insieme all'aria è in grado di ridurre composti organici volatili (VOC), particolato atmosferico e molte varietà di virus, batteri, muffe e funghi.

Successivamente sono stati configurati e settati opportunamente i sensori per il monitoraggio di temperatura ed umidità relativa.



Installazione del sistema di sanificazione



Sistema CNT



Quadro di alimentazione e Touch Screen  
per il Set-Point dei parametri



Sensore per il monitoraggio di temperatura  
ed umidità relativa



Lucernaio sito in Piazza Navona prima dell'installazione dell'impianto

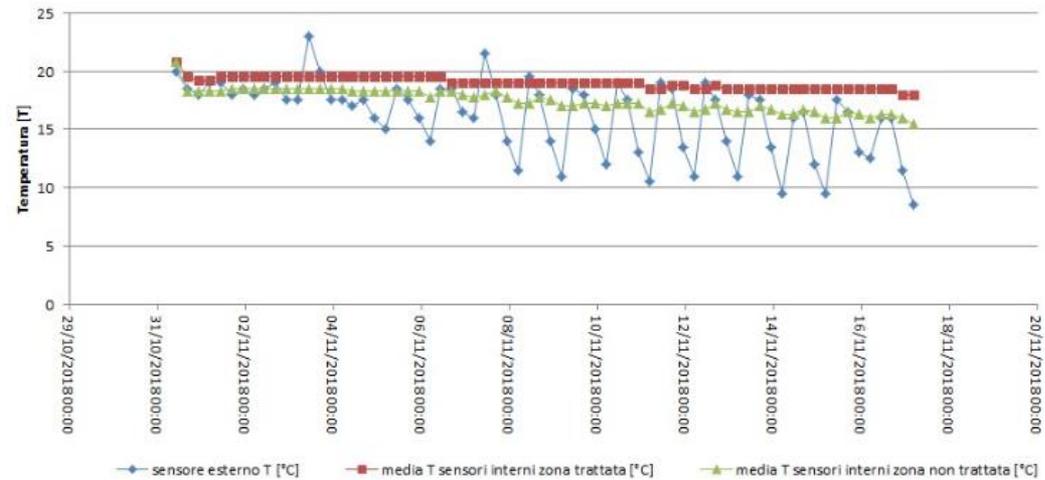


Lucernaio dopo l'installazione dell'impianto



Analisi periodiche di controllo

**Confronto degli andamenti della temperatura dal 29/10/2018 al 20/11/2018**



Primi andamenti della temperatura e dell'umidità relativa

Per quanto concerne la temperatura i dati delle misurazioni hanno evidenziato una loro costanza intorno ai 16 ° C, valore che rientra già nei parametri di collaudo positivo.

L'analisi dell'umidità relativa evidenzia un andamento costante in diminuzione nonostante i valori siano ancora elevati, la cui causa è dovuta al percolamento derivante da infiltrazioni provenienti dall'area esterna sovrastante la Cripta che comunica con il Chiostro di Palazzo Panfilì. Con l'eliminazione delle infiltrazioni ci si attende una più rapida diminuzione del valore dell'umidità relativa in ambiente.

**GRAZIE DELLA CORTESE ATTENZIONE**

